

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

# Diplomová práce

2012

Bc. Jaroslav Dřímál

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

Návrh technologického postupu a konstrukce přípravku pro  
montáž součástí motoru výrobní linky vývěvy nXDS

Rapid Heating and Cooling of the Pump Motor Rotor  
During Assembly on the nXDS Production Line

Student: Bc. Jaroslav Dřímál

Vedoucí diplomové práce: Ing. Oldřich Učeň, Ph.D.

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jaroslav Dřímál**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství  
Specializace: 72 Technická diagnostika, opravy a udržování  
Téma: **Návrh technologického postupu a konstrukce přípravku pro montáž součástí motoru výrobní linky vývěvy nXDS**  
**Rapid Heating and Cooling of the Pump Motor Rotor During Assembly on the nXDS Production Line**

### Zásady pro vypracování:

Navrhněte postup prací při montáži dílců motoru vývěvy nXDS včetně montážních teplot dílců, které jsou uloženy s přesahem. Dále navrhněte montážní přípravek pro manipulaci s dílci při montáži součástí motoru vývěvy nXDS. Celkový čas pro dokončení operace od vložení rotoru do pece až k odstranění ochlazeného montážního celku uvažujte přibližně 30 sekund.

### Vypracujte:

1. Technickou zprávu s popisem funkce navrhovaného přípravku se všemi nezbytnými výpočty.
2. Návrh pracovního postupu včetně návrhu teplot pro montáž dílců, které jsou uloženy s přesahem.
3. Konstrukční návrh přípravku pro manipulaci s dílci při montáži.
4. Kompletní výrobní dokumentaci přípravku.

### Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910. *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.  
Firemní podklady.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových\* stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Oldřich Učeň, Ph.D.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

## Poděkování

Děkuji Ing. Oldřichu Učňovi PhD. za odborné rady a připomínky. Děkuji společnosti Edwards, především Ing. Davidu Šudentovi, za poskytnutí všech potřebných materiálů a za udělené rady. Mé poděkování patří také rodičům a blízkým za podporu během mého studia.

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Jaroslav Dřímál

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Vacenovice 24, 69606, Česká Republika

## Anotace diplomové práce

DŘÍMAL, J *Návrh technologického postupu a konstrukce přípravku pro montáž součástí motoru výrobní linky vývěvy nXDS: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2012, 64s. Vedoucí práce: Učeň, O.

Počáteční kapitoly diplomové práce jsou věnovány vakuu a vývěvám. Tyto informace slouží k lepšímu pochopení konstrukčních řešení vývěv.

Po seznámení se s problematikou přímo ve firmě Edwards jsou navrženy takové postupy a přípravky, které odstraňují nevýhody dřívějších postupů a přípravků. U uložení s přesahem jsou navrženy montážní teploty. Je navržena výroba přípravků a související úpravy pracovního postupu. V přílohách je přiložena kompletní výrobní dokumentace přípravků.

## Annotation Of Master Thesis

DŘÍMAL, J *Rapid Heating and Cooling of the Pump Motor Rotor During Assembly on the nXDS Production Line: Master Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2012, 64 p. Thesis head: Učeň, O

The initial chapters of the thesis are devoted to vacuum and vacuum pumps. This information is used to better understanding of the structural design of vacuum pumps.

After the explanation of the issue directly in the company Edwards there are proposed such processes and products to eliminate the disadvantages of previous processes and products. Mounting temperatures are proposed for the interference fit. The production of the products and related adjustments of the workflow are proposed. The complete production documentation of products is attached in annexes.

## Obsah

	strana
Seznam použitých značek a symbolů .....	9
0. Úvod.....	11
1. Vakuum.....	12
1.1. Popis vakua .....	12
1.2. Možnosti využití vakua.....	12
1.3. Měření tlaku vakua .....	15
1.4. Vývěvy.....	16
1.4.1. Mechanické vývěvy .....	17
1.4.2. Hybnostní vývěvy .....	21
1.4.3. Transportní vývěvy .....	24
2. Vývěva nXDS .....	25
2.1. Představení firmy Edwards .....	25
2.2. Popis vývěvy nXDS a srovnání s XDS 10.....	26
2.3. Použití vývěvy a její parametry .....	28
2.4. Výrobní linka vývěvy nXDS .....	29
3. Problémy s uložením s přesahem.....	31
3.1. Obecně o uložení s přesahem.....	31
3.2. Uložení s přesahem na vývěvě nXDS.....	33
3.3. Výpočty montážních teplot dílců.....	36
4. Návrh přípravků pro uložení dílců s přesahem a montážního přípravku.....	39
4.1. Měření teploty ložiska .....	39
4.2. Měření teploty talířku .....	44
4.3. Měření teploty tělesa vývěvy .....	45



4.4.	Přípravek pro přitlačení horního víka .....	49
5.	Úprava pracovního postupu .....	56
5.1.	Pracovní postup pro přípravek na měření teploty ložiska.....	56
5.2.	Pracovní postup pro přípravek na měření teploty talířku .....	57
5.3.	Pracovní postup pro přípravek na měření teploty tělesa vývěvy .....	57
5.4.	Pracovní postup pro montáž přitlačného přípravku .....	58
6.	Porovnání navržených přípravků s přípravky firmy Edwards .....	59
6.1.	Měření teploty ložiska .....	59
6.2.	Měření teploty talířku .....	60
6.3.	Měření teploty uvnitř tělesa přípravku.....	61
7.	Závěr .....	62
8.	Seznam použitých pramenů .....	63
9.	Seznam příloh .....	64

## Seznam použitých značek a symbolů

Zkratka- veličina	Význam	Jednotka
$D_1$	malý průměr závitu matice	[mm]
$D_m$	roztečný průměr třecí plochy	[mm]
$F$	přítlačná síla	[N]
$F_o$	osová síla	[N]
$G$	vodivost potrubí	[Pa·m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> ]
$H_1$	nosná hloubka závitu	[mm]
$I$	objemový proud plynu	[m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> ]
$M_u$	utahovací moment	[N·mm]
$P$	tlak plynu	[Pa]
$R_e$	mez kluzu	[MPa]
$S$	tok plynu	[m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> ]
$S_1$	plocha nosného průřezu šroubu	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{p1}$	výpočtová styková plocha	[mm <sup>2</sup> ]
$U$	elektrické napětí	[V]
$b$	minimální výška matice	[mm]
$d$	velký průměr závitu šroubu	[mm]
$d_2$	střední průměr závitu	[mm]
$d_3$	malý průměr závitu šroubu	[mm]
$d_{mm}$	průměr náboje	[mm]
$\Delta d$	nejvyšší přesah	[mm]
$f_2$	součinitel smykového tření v závitu	[-]

$f_m$	součinitel smykového tření	[-]
$p$	rozteč závitu	[mm]
$p_1$	tlak plynu na začátku potrubí	[Pa]
$p_2$	tlak plynu na konci potrubí	[Pa]
$p_D$	dovolené napětí šroubu	[MPa]
$t_n$	teplota ohřevu náboje	[°C]
$t_h$	teplota okolí	[°C]
$v_{mm}$	montážní vůle	[mm]
$z$	počet závitů	[-]
$\beta$	vrcholový úhel závitu	[deg]
$\beta_n$	součinitel teplotní roztažnosti	[K <sup>-1</sup> ]
$\gamma$	úhel stoupání závitu	[deg]
$\varphi$	třecí úhel	[deg]

## 0. Úvod

Diplomová práce je vypracována ve spolupráci Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava a společnosti Edwards s.r.o. Lutín, která je známá výrobou vakuové techniky.

V této práci je popsáno vakuum a možnosti využívání vakua. Jsou popsány základní funkce a konstrukce vývěv.

Linka na výrobu vývěvy nXDS byla zavedena v polovině roku 2011 a během času doznala značných úprav, stále se řeší některé technologické postupy a užití nových přípravků pro montáže dílů.

V diplomové práci navrhuji přípravky pro měření teploty ložiska, talířku pro umístění ložiska a tělesa vývěvy. Jsou také přiloženy výpočty montážních teplot měřených dílů. Dále navrhuji přípravek, který zrychlí a usnadní montáž víka vývěvy. Úpravy se týkají výrobní linky v Lutíně.

Díky návrhu nových přípravků bylo zapotřebí změnit pracovní postupy. Zaměřil jsem se na konkrétní pracovní postupy a úpravy přípravků tak, aby práce s nimi byla bezpečná, jednoduchá a rychlá, zároveň je dodržena nízká výrobní cena přípravků. Výrobní dokumentace navržených přípravků je umístěna v přílohách na konci této práce.

Na závěr práce jsem porovnal přípravky navržené společností Edwards s přípravky navržené mnou.

## **1. Vakuum**

Prázdný prostor, ve kterém je tlak menší než atmosférický tlak. Každý druh vakua má využití v určitém oboru.

### **1.1. Popis vakua**

V ideálním případě je označováno vakuum fyzikálním stavem, v němž není přítomná žádná částice hmoty (například elektrony, protony) ani záření (například fotony). Je to část prostoru, která neobsahuje žádnou hmotu, může však do ní zasahovat fyzikální pole, například gravitační pole. Takové vakuum označujeme jako dokonalé. O vakuu neobsahujícím pole se mluví jako o prázdném prostoru.

### **1.2. Možnosti využití vakua**

Masové využití vakua je v žárovkách. Dále se vakuum nebo podtlak užívá v mnoha průmyslových odvětvích, často jako součást výrobní technologie, například pro snížení teploty varu při úpravě látek, rafinaci cukru, nebo při výrobě vakuových obrazovek, ty jsou součástí našeho každodenního života. Vakuum se také používá pro homogenizaci materiálů při jejich výrobě, pro odstranění bublinek a zhutňování. Vakuové lití zajišťuje dokonalé vyplnění formy a brání vzniku bublin v odlitku. Podtlak se využívá ve strojírenství k uchopování předmětů, v potravinářství (vakuové balení a sušení), ve stavebnictví jako tepelná izolace (vakuová okenní skla) i jinde. Běžný vysavač dosahuje asi polovinu atmosférického tlaku. Zaznamenal jsem také využití vakua kolem setrvačníku, který zajišťuje napájení po přechodnou dobu mezi výpadkem energie a naběhnutím generátoru.[1]

Tab. 1.1. Rozdělení vakua [1]

Rozdělení	Tlak v Pa	Tlak v hPa (mbar)
Atmosférický tlak	$\approx 1,01 \times 10^5$	1013,25
Hrubé vakuum	$10^{+4} \dots 10^{+2}$	300...1
Jemné vakuum	$10^{+2} \dots 10^{-1}$	$1 \dots 10^{-3}$
Vysoké vakuum	$10^{-1} \dots 10^{-5}$	$10^{-3} \dots 10^{-7}$
Ultravysoké vakuum	$10^{-5} \dots 10^{-10}$	$10^{-7} \dots 10^{-12}$
Extrémně vysoké vakuum	$< 10^{-10}$	$< 10^{-12}$

Hrubé vakuum je chemicky netečné prostředí bránící oxidaci žhavých součástí, díky tomuhle jevu je hojně užíváno v elektrotechnice (výbojky, žárovky), ve strojírenství (vakuový ohřev, tavení, sváření, pájení) a podobně. Je vytvářeno mechanickými vývěvami a měří se termickými vakuometry.

Jemné vakuum poskytuje delší střední volnou dráhu částic, která umožňuje jisté typy výbojů, a proto se používá v elektronice (vakuové a rentgenové výbojky, čisté technologie, vakuové napařování a podobně). Vytváří se mechanickými nebo difúzními vývěvami a měří ionizačními vakuometry.

Vysoké vakuum poskytuje ještě delší volné dráhy a používá se proto hlavně v elektronice (vakuové elektronky a obrazovky, výroba polovodičů). Vytváří se difúzními vývěvami, vyžaduje používání speciálních materiálů a těsnění.

Ultravysoké a extrémní vakuum je zajímavé především pro velmi dlouhé volné dráhy částic a používá se proto například v urychlovačích částic. Vytváří se několikastupňovými vývěvami, kde se k dosažení vyšších stupňů vakua využívá vakuum o vyšším tlaku, než to, kterého chceme na výstupu dosáhnout. Vyskytuje se ve vesmírném prostoru za hranicemi zemské atmosféry. [1]

Tab 1.2. Využití vakua [2]

<b>Průmyslové odvětví</b>	<b>Obor</b>	<b>Aplikace</b>	<b>Technologický postup</b>
<b>Elektronika</b>	součástky	elektronky, obrazovky	evakuace, kontrola těsnosti
		integrované obvody	vakuové napařování a naprašování kovových i nekovových vrstev
		kondenzátory	naprašování kovu na papír a plastické fólie
		tranzistory, LED	vakuová výroba polovodičových vrstev
		rezistory	vakuové napařování a naprašování odporových vrstev
		oscilační krystaly	vakuové napařování a naprašování kovových vrstev
	datová media	CD, CD-ROM, DVD	vakuové napařování kovových vrstev na plasty
<b>Elektrotechnika</b>	světelné zdroje	žárovky, výbojky zářivky	evakuace, vakuové plnění, pokovování, kontrola těsnosti, zátavy
	vinutí	transformátory, motory, tlumivky	lakování vinutí za horka ve vakuu
<b>Hutnictví</b>	vakuová metalurgie	speciální materiály	vakuové tavení, slinování, pájení, žíhání, kalení,sváření, odlévání,
<b>Optika</b>	přístroje	čočky, hranoly, filtry, zrcadla	vakuové pokovování
	spotřební keramika, sklo, bižuterie	dekorativní povrchové vrstvy	vakuové napařování a naprašování kovových i nekovových vrstev

<b>Chemie</b>	vakuové čištění	monokrystaly, vysoce čisté látky	sublimace, zonální tavba, destilace
	plasty	vrstvy polymerů	polymerace monomerů ve vakuu
		lisování plastů	lití a lisování plastů ve vakuu
<b>Potravinářství</b>	potraviny	masné, mléčné výrobky	vakuová sterilace, konzervace, balení
<b>Zemědělství</b>	produkty	obilí, semena	evakuace, balení, sušení
	živočišná výroba	dojení, ošetřování skotu	automatizované vakuové dojicí systémy, ošetřování skotu
<b>Ostatní</b>		plnění porézních materiálů	vakuové plnění porézních materiálů (kluzná ložiska)
		porézní materiály nasáté vodou	vakuové sušení
		automatizované montážní linky	uchopovací podtlakové přísavky

### 1.3. Měření tlaku vakua

Nejdůležitější veličina, která se ve vakuové technice měří, je tlak. Měření dalších veličin, se většinou převádí na měření tlaku. Ty se stanovují ze základních rovnic, určujících vztah mezi vodivostí potrubí  $G$ , proudem  $I$ , tokem plynu  $S$  a tlaky  $p_1$  a  $p_2$ . [3]

$$I = G \cdot (p_2 - p_1) = S_1 \cdot p_1 - S_2 \cdot p_2 \quad (1.1)$$

Parametry vakua jsme schopni měřit buď přímo na přístrojích, které jsou k tomu určené, nebo nepřímo vyčteme z výsledků měření dalších veličin. Přístroje pro měření celkového tlaku ve vakuových systémech nazýváme vakuometry. Měřicí přístroje i metody měření tlaku jsou rozdílné, je to dáno tím, že rozsah měřených tlaků plynů ( $10^5$  až  $10^{-12}$  Pa) je velmi široký, jsou také hodně závislé na podmínkách použití přístroje. K měření tlaku se



využívá různých jevů, které jsou závislé na tlaku plynu. V kompresních a barometrických vakuometrech se měří mechanické síly, kterými působí na citlivý snímač přístroje molekuly plynu, molekulární vakuometry měří mechanické síly příslušející zvětšení energie zahřátého plynu. V tepelných vakuometrech je využito závislosti tepelné vodivosti plynů na tlaku, ve viskózních vakuometrech je využito závislosti vnitřního tření zředěných plynů na tlaku. Ionizační vakuometry měří proud iontů vznikajících ionizací plynu a tento proud je mírou koncentrace plynu.[3]

Po vakuometrech požadujeme:

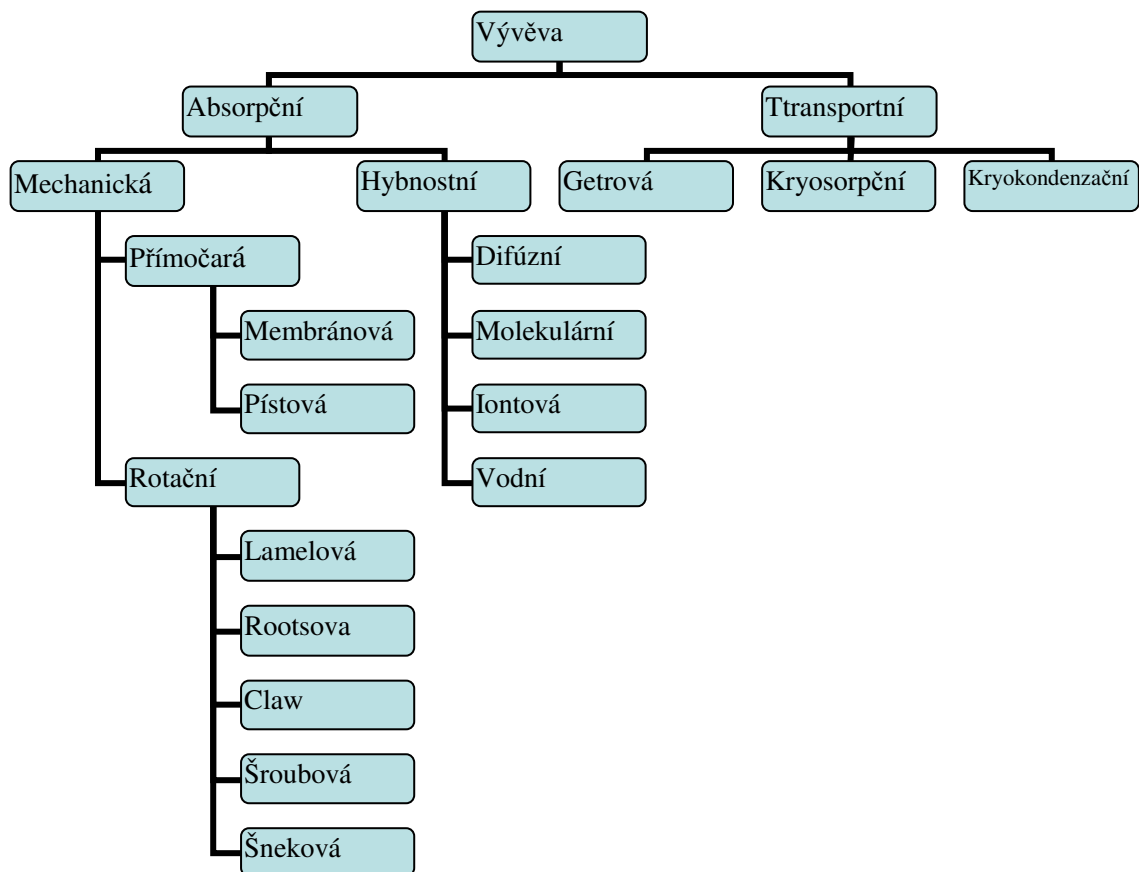
- absolutní měření
- nezávislost údaje na druhu plynu
- vysokou citlivost
- mechanickou odolnost měrek
- snadné zpracování signálu
- lineární stupnice
- většinou nízkou cenu

#### 1.4. Vývěvy

Vývěva je zařízení, pomocí kterého se odčerpává vzduch či jiné plyny z uzavřeného prostoru. Tím vytváří částečné vakuum. Vývěva je plynové čerpadlo, podobně jako u čerpadel existuje řada různých konstrukčních řešení vývěv. Vývěvy můžeme dělit jednak podle fyzikálního principu činnosti, a také podle míry vakua, které mohou dosáhnout.

Dále se konstruují různé vakuové aparáty, které umožňují získat a uchovat v čerpaných objemech nutný nízký tlak během určité doby. Ve vakuových komorách se provádějí vědecká studia a technické výzkumy.

Současné vakuové aparatury jsou do značné míry automatizovány, pokud jde o uvedení do chodu i o provedení procesů, k nimž jsou určeny. Velký význam mají přirozeně informace získávané prostřednictvím vakuometrů připojených k různým bodům vakuové aparatury. Podle údajů vakuometrů se ovládají ventily, vypínače elektromotorů a ostatních prvků vakuové soustavy

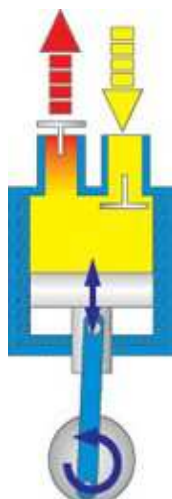


Obr. 1. Rozdělení vývěv

#### 1.4.1. Mechanické vývěvy

##### Pístová vývěva:

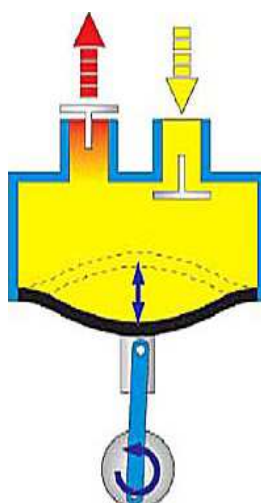
Patří mezi vývěvy, jejich základním principem je konání přímočarého vratného pohybu. Konstrukčně odpovídá kompresoru, ten nasává plyn z omezeného prostoru (vytváří vakuum) a vytlačuje ho do volného prostoru. Na počátku práce vývěvy klesá při každém zdvihu tlak v prostoru, kde má být utvořen podtlak. Tlak v prostoru klesá do okamžiku dosažení takzvaného rovnovážného stavu, to je stav, kdy vývěva odsává pouze tolik vzduchu, kolik ho vzniká netěsnostmi do prostoru. K dosažení větších podtlaků je třeba těsného pístu a co nejmenší škodlivý prostor. Dosahovaný podtlak je 0,001 MPa.



Obr. 1.1. Pístová vývěva [2]

### **Membránová vývěva:**

Patří také mezi vývěvy, jejichž základním principem je konání přímočarého vratného. Pracuje na velmi podobném principu jako pístová vývěva. Maximální podtlak je zde omezen tlakem, při kterém se ještě otevře sací ventil. Nejčastěji se vyskytuje v laboratořích a provozech, kde je třeba dosahovat nízkého vakua, řádově  $10^{-2}$  Pa. Často bývají tyto vývěvy používány jako jednotky pro vytvoření předvakua v hybridních vakuových jednotkách (například spojení membránové a Rootsovy vývěvy). V některých případech jsou tyto vývěvy vhodné i k čerpání agresivních či korozivních plynů, podmínkou je chemicky odolná membrána. Membránové vývěvy mohou být zapojovány sériově (pro dosažení nižšího mezního tlaku) či paralelně (pro zvýšení čerpací rychlosti). Nízká výrobní cena je také jedna z předností.

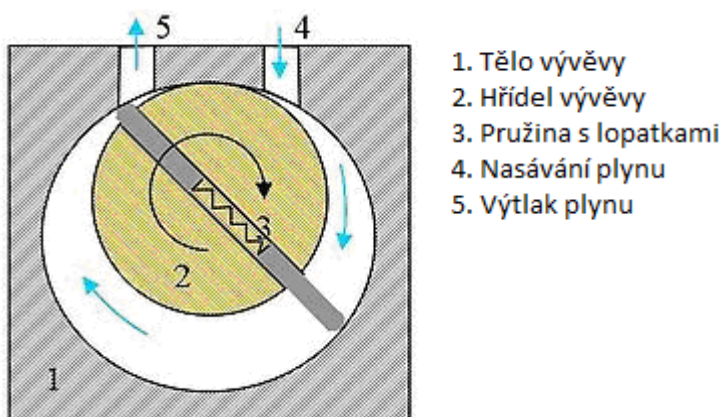


Obr.1.2. Membránová vývěva [2]

### Lamelové olejové vývěvy:

Pracují na základě excentricky uloženého rotoru s lopatkami. Olej zde hraje úlohu těsnící, mazací a do jisté míry zajišťuje přenos tepla uvolňovaného při stlačování plynu. Ve vývěvě dochází ke stlačování čerpaného plynu, to může mít za následek rozpouštění některých odčerpávaných látek v oleji a jejich případný návrat do čerpaného systému.

Vyšší čerpací účinnost se zajišťuje buď paralelním nebo sériovým zapojením vývěv v čerpaném okruhu. Některé rotační vývěvy jsou konstruovány jako dvojstupňové, což v podstatě představuje dvě vývěvy vzájemně sériově propojené a konstrukčně uspořádané v jednom bloku na společné hřídeli. Účinnost olejové vývěvy ovlivňuje především kvalita použitého oleje, a také tlak jeho nasycených par. [2]

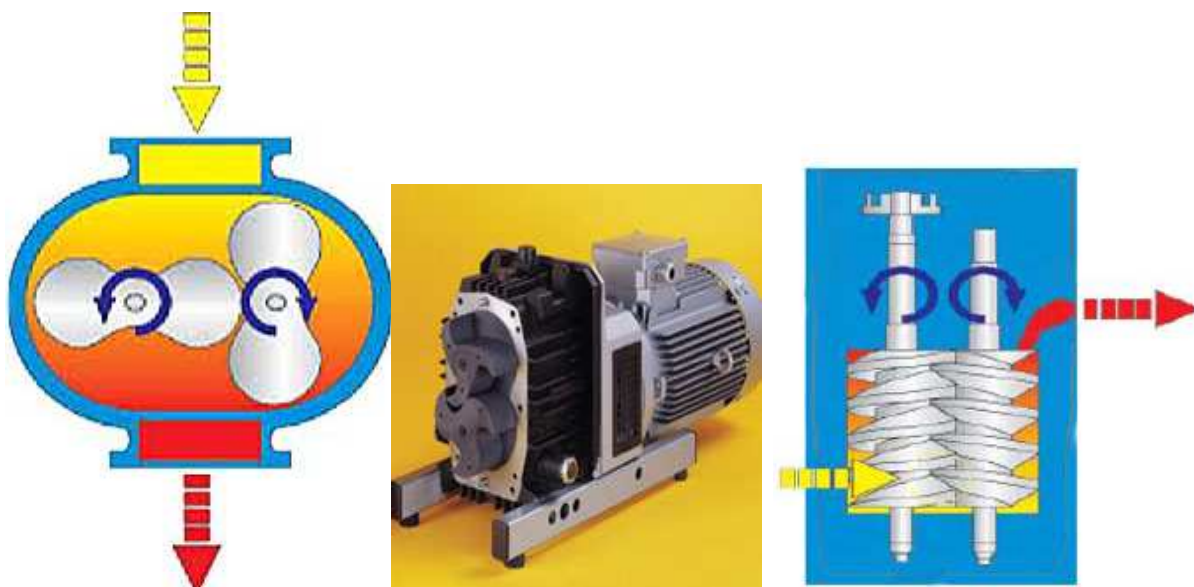


Obr.1.3. Lamelová vývěva

### Rootsovy vývěvy:

Můžeme je rozdělit do více skupin, podle principu jejich práce a to čerpání plynu za pomoci dmychadel, šroubových čerpadel a claw (drápkových) čerpadel.

Dva precizně vycentrované rotory s minimálními mezerami mezi sebou se otáčejí rychlostí několik tisíc otáček za minutu a přečerpávají plyn ze systému. Tyto vývěvy (často používané jako součást vzduchotechniky) vyžadují předvakuum a chlazení, nezřídka i odhlučnění. Jejich předností je velmi vysoká čerpací rychlost. Stejně jako v předchozích případech mohou být tato zařízení sériově či paralelně zapojována. Tyto vývěvy neobsahují mazací oleje, a proto mohou být uloženy jakýmkoliv způsobem. [2]

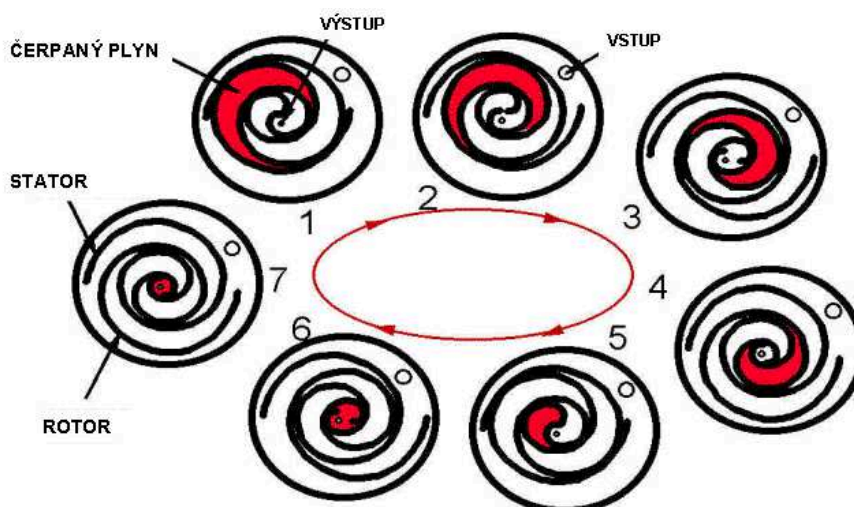


Obr. 1.4. Zleva Rootsova, uprostřed drápková, vpravo šroubová vývěva [2]

### Šneková vývěva

Design šnekové vývěvy byl navržen v roce 1905 Leonem Creuxem, v té době ještě nebylo možné dosahovat tak přesných uložení, proto se dlouhou dobu plně nevyužívala.

Rotor i stator mají kruhový tvar, na obou je vystouplá spirála. Spirály rotoru a statoru do sebe zapadají, nedotýkají se však. Orbitální pohyb rotoru, vymezený vzdáleností sousedních spirál, posouvá plyn sevřený mezi spirálami ke středu, kde je vytlačen proti atmosférickému tlaku.



Obr. 1. 5. Funkce šnekové vývěvy



Obr. 1.6.. Šneková vývěva

#### 1.4.2 Hybnostní vývěvy

##### **Vodní vývěvy:**

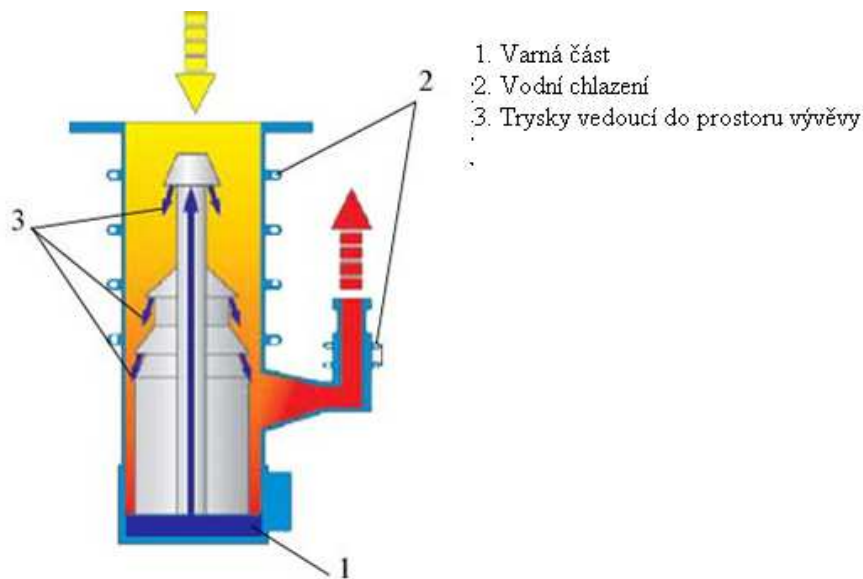
Využívá se proud pracovní tekutiny, rychlý kuželový proud vody proudící z trysky strhává molekuly čerpaného plynu. Tlak v místě rychle proudící kapaliny je nižší než v místě, kde kapalina proudí pomaleji, takže rozdíl tlaku nasává plyn z evakuovaného prostoru a směs kapaliny s plynem je odváděna z vývěvy. Fungování této vývěvy napomáhá i to, že proudící kapalina předává molekulám plynu hybnostní impuls ve směru čerpání plynu.

##### **Difúzní vývěvy [2]**

Uplatňují se především pro vytvoření vysokého vakua. Vyžadují předvakuum v řádech jednotek až desítek Pa. Mezi přednosti těchto vývěv patří relativně nízká cena, konstrukční jednoduchost, odolnost a v neposlední řadě i schopnost čerpat jakýkoliv plyn. Nevýhodou je možné znečištění vakua parami pracovní tekutiny a proto je nutné mezi evakuovaný prostor a difúzní vývěvu zařazovat vymrazovací prsty a lapače oleje.

Difúzní vývěva nemá žádné pohyblivé části a funguje podobně jako kapalinová vývěva, v oblasti vyššího vakua však působí pouze strhávání molekul plynu rychle proudící kapalinou nebo parou. Maximální vakuum je omezeno povrchovým napětím čerpací kapaliny nebo par, dnes se většinou používají olejové páry. Difúzní vývěva je tvořena varnou částí, kde se elektrickým proudem zahřívá k varu pracovní tekutina a její páry jsou vedeny tryskou do prostoru vývěvy. Směr proudění těchto par je shodný se

směrem proudění čerpaného plynu. Čerpaný plyn proniká do par pracovní tekutiny a tato směs je pak vedena do prostoru, kde zkondenzuje pouze pracovní tekutina a stéká zpět do varné části a čerpaný plyn je odveden primární vývěvou ze systému. Mezní tlak olejových difúzních vývěv se pohybuje v rozmezí  $10^{-2}$  až  $10^{-7}$  Pa.



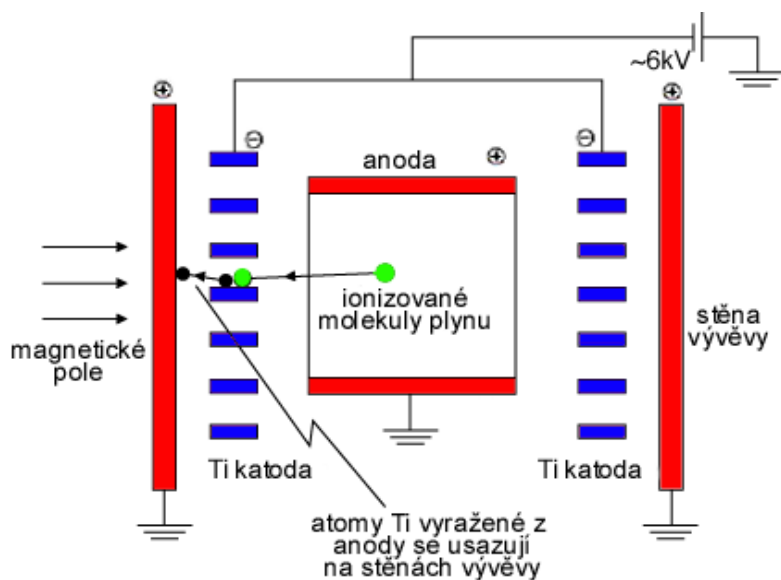
Obr 1.7. Difúzní vývěva

### Iontové vývěvy

Uplatňují se pro získání ultravysokého vakua ve speciálních přístrojích, jako například v hmotnostních spektrometrech, urychlovačích, mikrovlnných generátorech či elektronových mikroskopech.

Molekulám plynu je udílen impuls ve směru čerpání proudem nabitých částic a ty jsou dále poutány ve vývěvě. Na anodu se vloží napětí několik kV, takže vznikne výboj, který rozprašuje materiál elektrod na okolní stěny. Výboj probíhá v magnetickém poli permanentního magnetu, které je kolmé k rovině elektrod a proto se elektrony pohybují na dlouhých šroubovicových drahách, což zvyšuje pravděpodobnost jejich srážky s molekulami čerpaného plynu. Čerpaný plyn je při srážce ionizován a vzniklé ionty jsou strhávány směrem ke katodám, kde se adsorbují na povrchu titanu. Účinnost vývěvy je dále zvyšována tím, že titan je rozprašován a zachycuje se na ostatních částech vývěvy, kde na sebe váže zbytky čerpaných plynů.[2]

Lze dosáhnout tlaku  $10^{-9}$  až  $10^{-10}$  Pa. Nevýhodou je vysoká cena, vysoký elektrický příkon, velká hmotnost, nižší čerpací rychlost a nutnost obnovování elektrod.

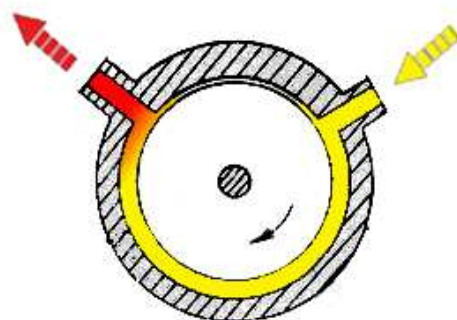


Obr.1.8. Iontová vývěva[2]

### Molekulární vývěvy:

Díky vysokým otáčkám a velké přesnosti výroby jsou náročné na výrobu a drahé, ovšem dokážou čerpat od velmi nízkého vakua až do tlaku  $10^{-11}$  Pa, vakuum z molekulární vývěvy je velmi čisté.

Konstrukčně se podobá rotační olejové pumpě, rozdíl je v asymetricky umístěném rotoru, který nemá žádné planžety a molekuly zbytkové atmosféry strhává pouze nerovnostmi na svém povrchu. Maximální otáčky dosahují až 20 000 otáček za minutu. Důležité je velmi přesné ustavení rotoru.



Obr. 1.9. Molekulární vývěva [2]

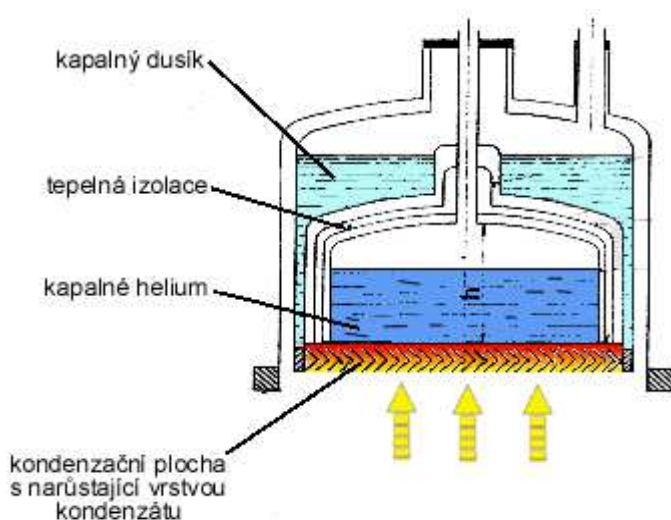


### 1.4.3. Transportní vývěvy

#### Kryokondenzační a kryosorpční vývěvy:

Mají velkou čerpací rychlost, poskytují čisté vakuum, podle typu chlazení lze dosáhnout tlaku až  $10^{-7}$  Pa (vývěvy chlazené pouze kapalným dusíkem) i tlaků nižších než  $10^{-10}$  Pa (vývěvy s průtokem kapalného helia).

Kryokondenzační vývěvu tvoří dvě od sebe izolované nádoby, ve vnější je kapalný dusík a ve vnitřní kapalné helium, ta je také spojena s kondenzační plochou, zasahující přímo do prostoru s odebíraným plynem. Plocha je chladná a kondenzují zde molekuly zbytkového plynu, přitom tlak ve vývěvě klesá. Protože na kondenzační ploše narůstá vrstva tuhého kondenzátu, který má špatnou tepelnou vodivost, účinnost vývěvy se během čerpacího cyklu postupně snižuje. [2]



Obr.1.10. Kryokondenzační vývěva [2]

#### Getrové vývěvy:

Indukčním ohřevem se ve vakuu odpaří baryum a v okamžiku odpaření pohltí zbytky plynů, které nestačila odsát vývěva. Getrové páry jsou v činnosti jen po několik vteřin a pak se srážejí na baňce v tuhém skupenství jako známé getrové zrcátko, jejich účinek je však mimořádně významný a důležitý. [2]

## 2. Vývěva nXDS

Vývěva řady nXDS je vlastně modifikovanou verzí vývěvy XDS, společnost Edwards se dlouhodobě snaží zlepšovat kvalitu svých vývěv a rozšiřovat oblasti jejich použití.

### 2.1. Představení firmy Edwards

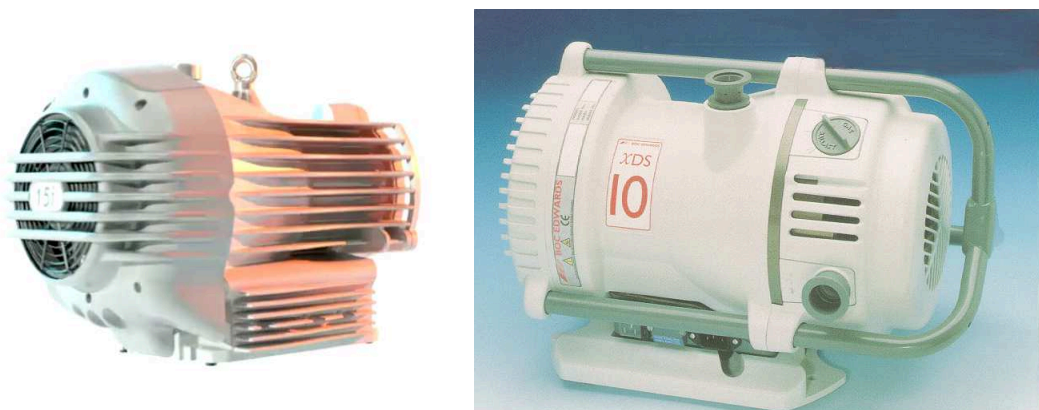
Od založení v roce 1919 se začala rozšiřovat do dalších zemí, její produkty jsou nabízeny po celém světě, největší výrobní linky jsou v České Republice a Koreji, další velké pobočky má v USA, Izraeli, Japonsku, Brazílii, Číně, Indii, Itálii, Francii, Německu a také v Singapuru.



Obr.2.1 Rozmístění středisek a logo firmy

Edwards je přední světový poskytovatel integrovaných řešení pro výrobu polovodičů, plochých displejů, LED a solárních článků. Je také předním dodavatelem vakuové technologie pro průmyslové, farmaceutické, chemické a vědecké účely. Edwards zaměstnává přibližně 3000 zaměstnanců ve vývoji, výrobě a podpoře systémů ve vakuu a výfukových vedeních. Společnost také nabízí svým zákazníkům rotační lopatkové, difuzní a turbomolekulární vývěvy. Společnost v současné době vlastní více než 1400 patentů, které se vztahují přímo k vakuu a technologiím regulace emisí.

## 2.2. Popis vývěvy nXDS a srovnání s XDS 10



Obr .2.2. Vývěva nXDS(vlevo),vývěva XDS

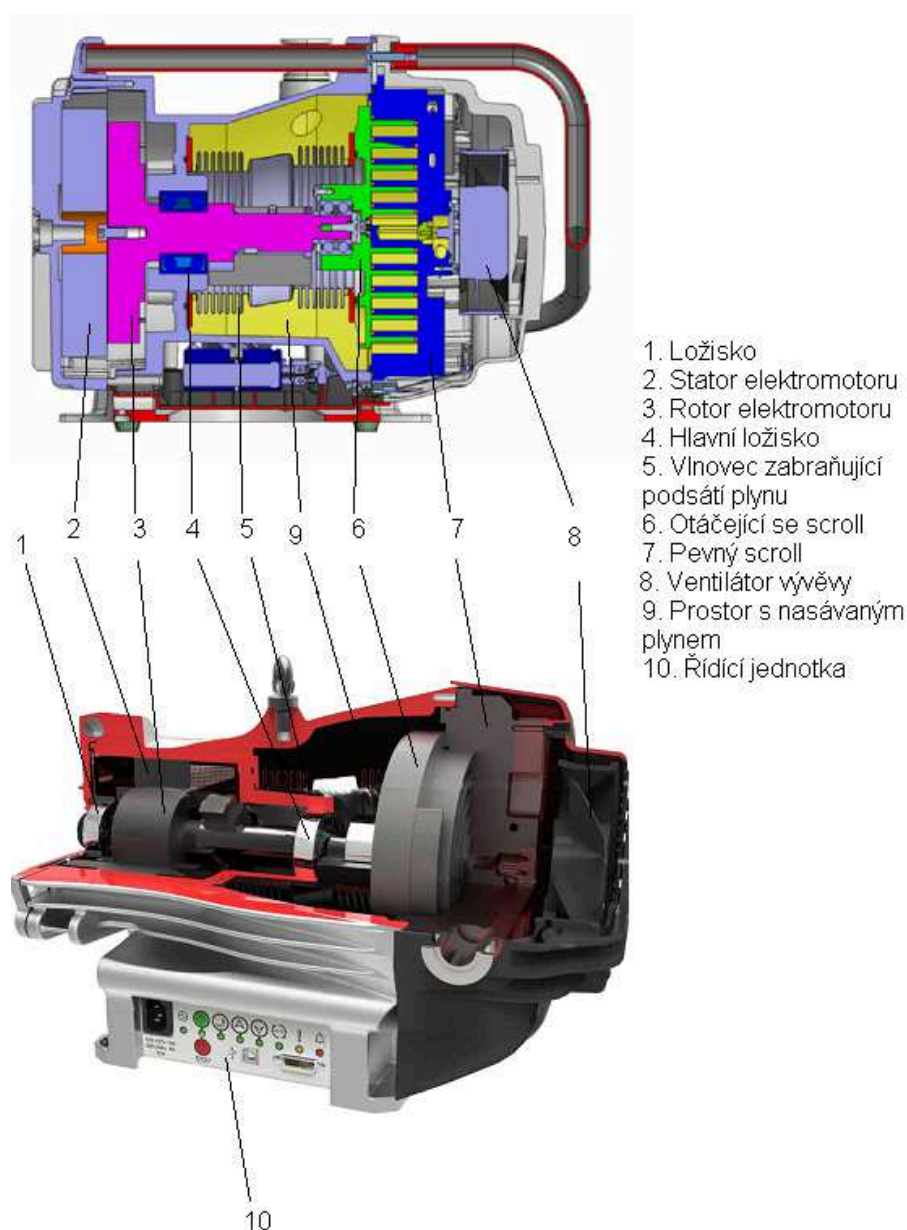
Vývěva nXDS stejně jako XDS pracuje na principu suché šnekové (scroll) vývěvy. Vytváří čisté vakuum.

První velký rozdíl mezi vývěvami je použitý elektromotor, který pohání pohyblivý šnek, ve starším modelu je užito asynchronního elektromotoru s axiálním uložením. Tento motor je dodáván externí firmou a je přímo zabudován do těla vývěvy. Novější vývěva už má v sobě zabudován pro nás typičtější radiální elektromotor, jeho stator i s potřebnou elektroinstalací je montován s přesahem do těla vývěvy v Lutíně.

Díky rozdílným motorům je také rozdílné uložení rotorů, to má vliv na vibrace a hlučnost vývěvy. Na starší vývěvě XDS je celý rotor i se šnekem uložen jen jedním dvojitým ložiskem k tělesu vývěvy, druhé ložisko je nalisováno na excentrickém osazení hřídele, zabraňuje tak pohyblivému šneku v rotačním pohybu. Také tohle řešení uložení je dodáváno do výrobního závodu externí firmou, která garantuje bezchybné uložení, bez velkých odchylek. Uložení rotoru na novější vývěvě nXDS je řešeno pomocí dvou valivých ložisek, tohle řešení je logičtější díky lepšímu rozložení zatížení při vyšších otáčkách vývěvy, rotory se montují na hřídel ve výrobním závodu v Lutíně.

Jakou součást novější vývěvy nXDS je také řídicí jednotka, ta dokáže měnit otáčky vývěvy, díky tomu je schopna bez vnějších zásahů dodržovat nastavené vakuum, dále je zabudován frekvenční převodník napětí, díky kterému si řídicí jednotka umí poradit s různými druhy napětí, může tak být zapojena do sítě v kterémkoliv státě EU.

Aby nedocházelo k vzájemnému tření stěn obou šneků, musí do sebe zapadat s velkou přesností, a to v řádech několika tisícín milimetru. Hlavní ložisko je chráněno vlnovcem z důvodu možného podsátí vzduchu z atmosféry a také možnému znečištění čerpaného plynu mazivem ložiska. Vlnovec také zabraňuje rotačnímu pohybu šneku. Při čerpání plynu se vývěva poměrně hodně zahřívá, je nutné její chlazení. To je zajištěno ventilátorem, který je umístěn pod plastovým krytem u ústí vývěvy.



Obr.2.3. Porovnání starší XDS(nahoře) a nXDS

## 2.3. Použití vývěvy a její parametry

Vhodné využití vývěvy:

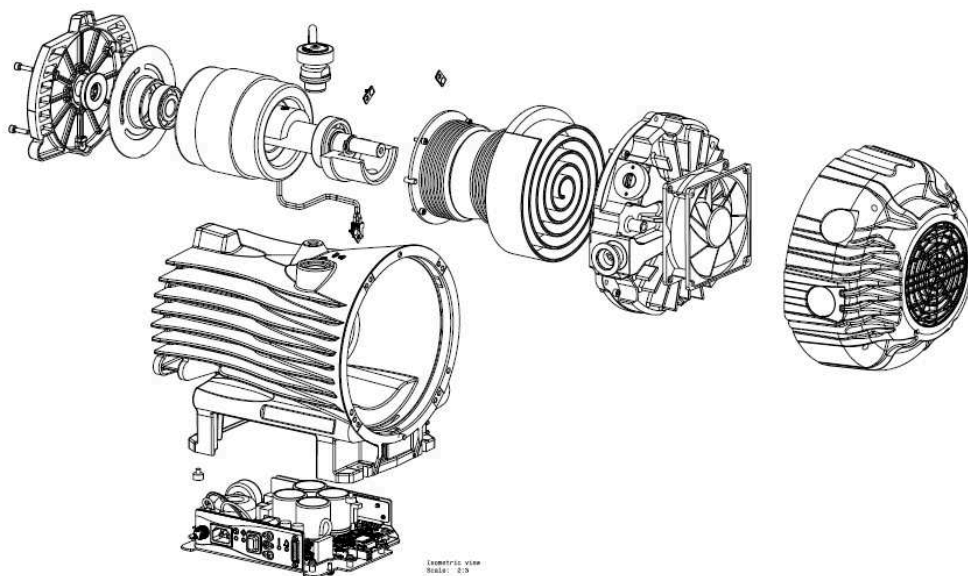
hmotnostní spektrometrie, elektronová mikroskopie, příprava vzorku ,výzkum a vývoj, lineární urychlovače, mobilní čerpací průmyslové aplikace, evakuace brzdového systému a klimatizace, evakuace laserových systémů, vytváření předvakua.

Tab. 2.1. Parametry vývěv nXDS

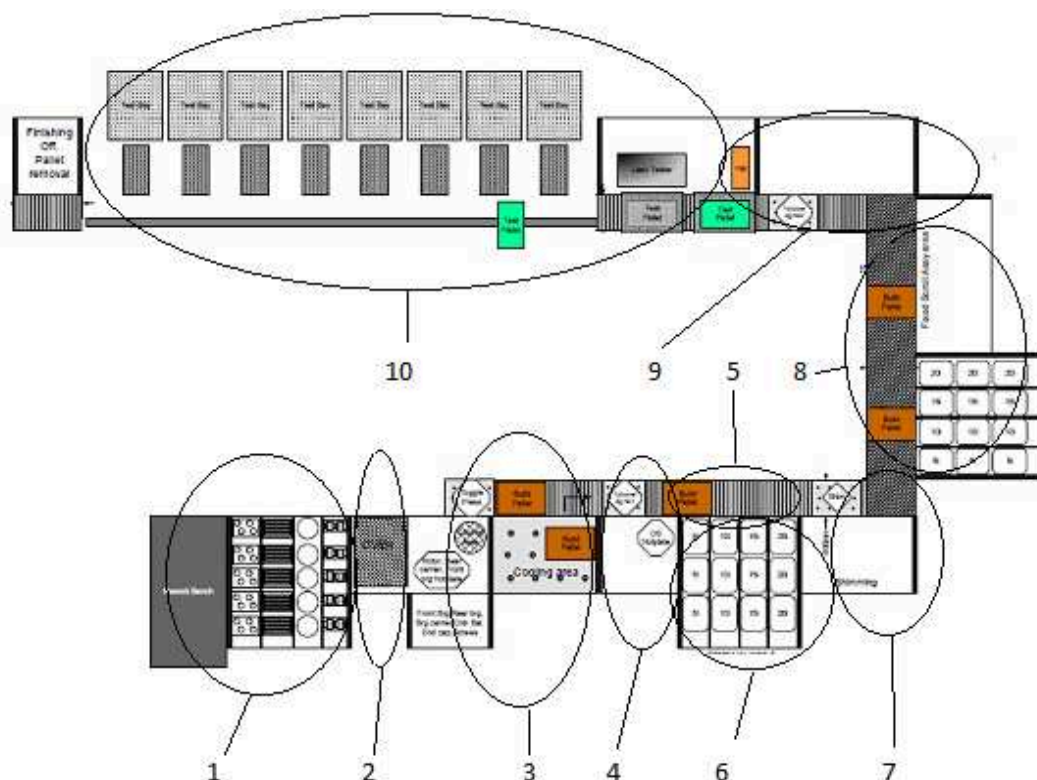
	nXDS6i	nXDS10i	nXDS15i	nXDS20i
Jmenovité otáčky	1800 U/min			
Jmenovitý sací výkon	6,8 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> / 4,0 ft <sup>3</sup> min <sup>-1</sup>	12,7 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> / 7,5 ft <sup>3</sup> min <sup>-1</sup>	17,1 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> / 10,1 ft <sup>3</sup> min <sup>-1</sup>	28,0 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> / 16,5 ft <sup>3</sup> min <sup>-1</sup>
Jmenovitý čerpací výkon	6,2 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> / 3,6 ft <sup>3</sup> min <sup>-1</sup>	11,4 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> / 6,7 ft <sup>3</sup> min <sup>-1</sup>	15,1 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> / 8,9 ft <sup>3</sup> min <sup>-1</sup>	22,0 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> / 13,0 ft <sup>3</sup> min <sup>-1</sup>
Výsledný tlak	0,020 mbar/ 0,015 Torr	0,007 mbar/ 0,005 Torr	0,007 mbar/ 0,005 Torr	0,030 mbar/ 0,022 Torr
Minimální otáčky	1200 U/min			
Regulace otáček v rozmezí	1%			
Maximální plnicí tlak vodní párou	35 mbar	35 mbar	35 mbar	20 mbar
Maximální kapacita vodní páry	110 g/h	145 g/h	280 g/h	220 g/h
Maximální kontinuální výstupní tlak	200 mbar	200 mbar	200 mbar	50 mbar
Vstupní napětí	100-127, 200-240 (+/-10%)			
Frekvence	50/60 Hz			
Výkon motoru	260 W	280 W	300 W	260 W
Typ zásuvky	IEC EN60320 C13			
Doporučené jističe	10 A, 250 V AC effektiv			
Hmotnost	26,2 kg / 58 lb	25,8 kg / 57 lb	25,2 kg / 56 lb	26,6 kg / 56 lb
Vstup	DN25KF			
Výstup	DN25KF			
Hluk	52 dB(A)			
Vibrace na výstupní přírubě	< 4,5 mms <sup>-1</sup> (effektiv)			
Těsnost do	< 1 x 10 <sup>-6</sup> mbar ls <sup>-1</sup>			
Pracovní teplota	+10 C bis +40 C / +41 bis +104 F			

## 2.4. Výrobní linka vývěvy nXDS

Kompletace celé vývěvy probíhá na jedné pracovní lince, linka má montážní a zkušební stanoviště, vývěvu montují dva pracovníci, každý vykoná operace, které má uloženy v elektronickém manuálu, pracovník je pak plně zodpovědný za správně vykonanou práci. Vývěva se přesouvá mezi jednotlivými stanovišti přichycena na posuvné desce, po válečkovém dopravníku. Na některých stanovištích je nutno vývěvu otáčet, zvedat a pokládat.



Obr. 2.4. Náčrt dílů vývěvy



Obr.2.5. Náčrt linky

Popis linky:

1. Skříň s ložisky, stator, rotory, hřídeli a dalšími potřebnými díly.
2. Nahřátí a montáž rotoru a ložiska na hřídel, nahřátí a montáž ložiska do víka.
3. Nahřátí tělesa vývěvy a následné vkládání dílů elektromotoru.
4. Otočení tělesa vývěvy a chlazení ventilátorem.
5. Otočení tělesa vývěvy, vložení protizávaží a ochranného vlnovce, následná montáž pohyblivé části vývěvy.
6. Skříň s díly vývěvy.
7. Ustavování, vypodkládání pohyblivé části vývěvy.
8. Montáž pevné části vývěvy a ustavování.
9. Montáž řídicí jednotky.
10. Testování vývěvy.



### **3. Problémy s uložením s přesahem**

Uložení s přesahem se na dané vývěvě vyskytuje hned několikrát. V téhle kapitole nastíním řešení takových uložení, které byly zvoleny pro vývěvu nXDS.

#### **3.1. Obecně o uložení s přesahem**

Spoje, které jsou uloženy s přesahem považujeme za spoje pevné (nepohyblivé) založené na principu stálého pružného předpětí spojovaných částí pomocí přesahu v jejich stykové ploše. Vnější zatížení je přenášeno třením mezi hřídelí a nábojem, vznikajícím ve spoji při jeho montáži. Tření je vyvoláno vnitřními normálními silami, vznikajícími v důsledku elastických deformací spojovaných částí.

Nalisováním se obecně rozumí vpravení hřídele o větším průměru do menšího otvoru náboje. Po spojení (nalisování) součástí dojde ke zmenšení průměru hřídele a zvětšení otvoru v náboji, přičemž se obě součásti ustaví na společném průměru. Ve stykové ploše pak vzniká rovnoměrně rozložený tlak. Charakteristickým znakem a základní veličinou nalisovaného spoje je tedy jeho přesah, daný rozdílem mezi montážním průměrem hřídele a průměrem otvoru v náboji. Na velikosti přesahu je závislá hodnota stykového tlaku a tím i únosnost a pevnost spoje.

S ohledem na skutečnost, že průměry stykových ploch spojovaných součástí není v praxi možné vyrábět s absolutní přesností, je výrobní přesah uložení hodnotou neurčitou a nahodilou. Jeho velikost je ohraničena dvěma tabulkovými hodnotami krajních přesahů, které jsou dány zvoleným uložením, a to povolenými výrobními tolerancemi spojovaných částí.

#### **Výhody spoje:**

- velká únosnost spoje
- vhodné i pro střídavé zatížení a zatížení s rázy
- vhodné pro velké a těžké součásti
- vysoká přesnost souososti a kolmosti spoje
- vysoká spolehlivost spoje
- konstrukční jednoduchost spoje



- snadná výroba

#### **Nevýhody spoje:**

- velmi obtížná, případně i nemožná demontáž spoje
- náročná a nebezpečná montáž spoje
- vysoké nároky na přesnost výroby
- větší rozptyl v únosnosti spoje
- značné namáhání součástí od nalisování

Proces lisování se technologicky řeší dvěma základními způsoby:

**Lisování za studena** - natlačení hřídele do náboje za pomoci síly vyvinuté lisem, nebo daným přípravkem.

**Lisování za tepla** - zasunutí součástí po předchozím ohřevu náboje, nebo po předchozím ochlazení hřídele.

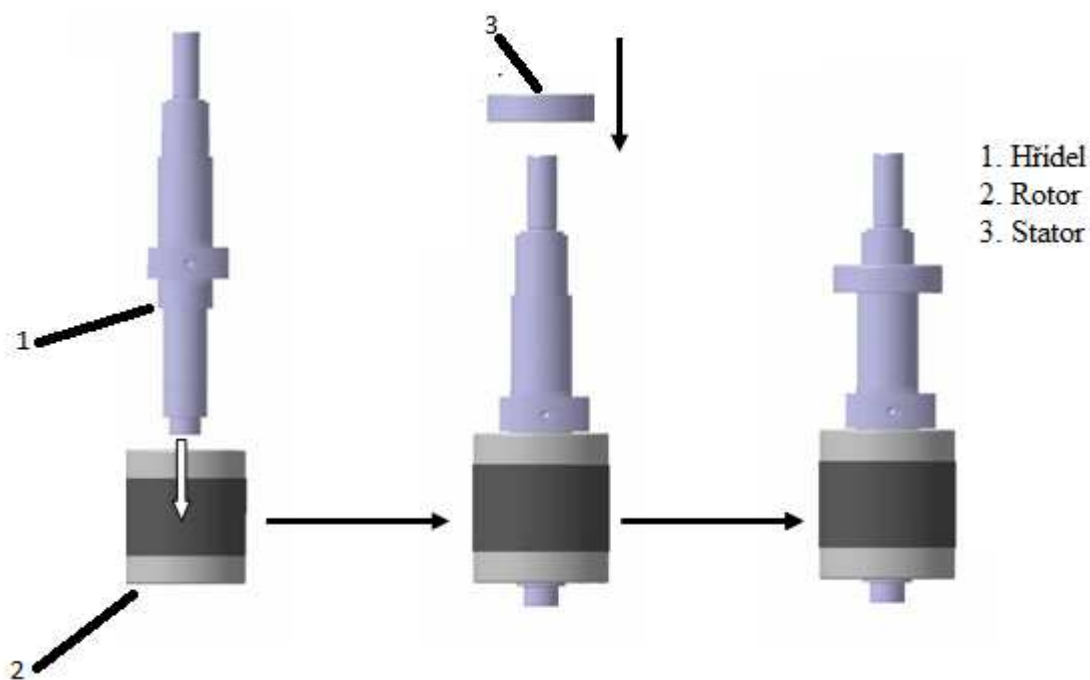
- Stoupající teplota ovlivňuje vlastnosti materiálu, klesá modul pružnosti materiálu.
- U spojů s hřídelí a nábojem ze stejného materiálu se sníží stykový tlak a taky se sníží únosnosti spoje.
- U spojů s použitím odlišných materiálů dochází vlivem různé teplotní roztažnosti ke změně provozního přesahu. To se projevuje snížením únosnosti, a zvýšením namáhání součástí. [4]

Teplota, na kterou je potřeba daný díl zahřát záleží na velikosti dílu a na jeho technických možnostech. U oceli dochází ke strukturálním změnám uvnitř materiálu už při teplotě 200°C (podle typu oceli). Ohřev součástí se provádí v elektrické peci.

Výpočet montážních teplot je platný pouze za předpokladu, že jsou výrobní rozměry spoje stanoveny při teplotě 20°C .

### 3.2. Uložení s přesahem na vývěvě nXDS

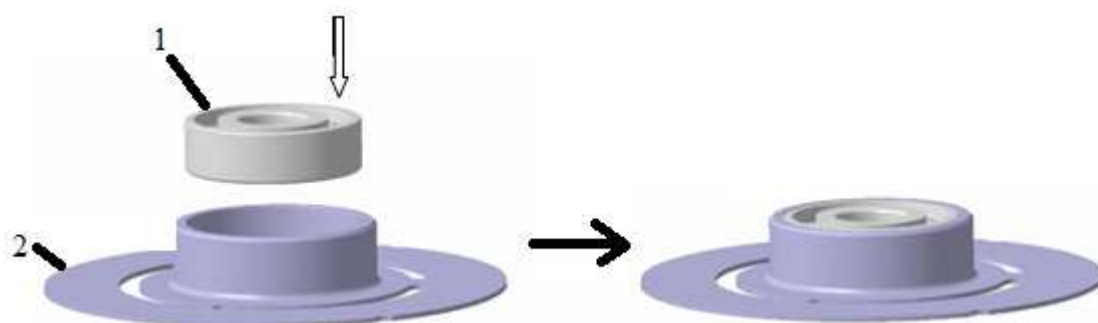
Na vývěvě je vyžadováno uložení s přesahem hned na několika místech, s prvním se setkáváme na rotorové hřídeli, kde je zapotřebí nalisovat ložisko a rotor. Přesah je zde řešen mezi hřídelí a vnitřním kroužkem ložiska, dále je tohle ložisko usazeno do tělesa vývěvy, a to mezi vnitřním průměrem tělesa vývěvy a vnějším průměrem ložiska, u rotoru se řeší přesah mezi hřídelí a vnitřním průměrem rotoru. Díky těmto uložení se nám pevně ustaví ložisko a rotor na hřídeli. Místo, kde se dané operace provádějí je zakresleno výše pod bodem: 2. *Nahřátí a montáž rotoru a ložiska na hřídel, nahřátí a montáž ložiska do víka.* Ložisko i rotor jsou na hřídel nasazována za pomoci tepelné roztažnosti, kdy díly nahřejeme v peci na danou teplotu, díky čemuž dojde k jejich roztažení na námi požadovaný průměr hřídele, výpočet teploty budu dále popisovat při konstrukci přípravků pro měření teploty uvnitř pece. Na celou operaci je daný čas 30 vteřin, ten se počítá od vyndání zahřátého ložiska z pece. Výpočtem teploty ložiska pro vložení na hřídel se zabývám v následující podkapitole.



Obr. 3.1. Uložení ložiska a rotoru s přesahem

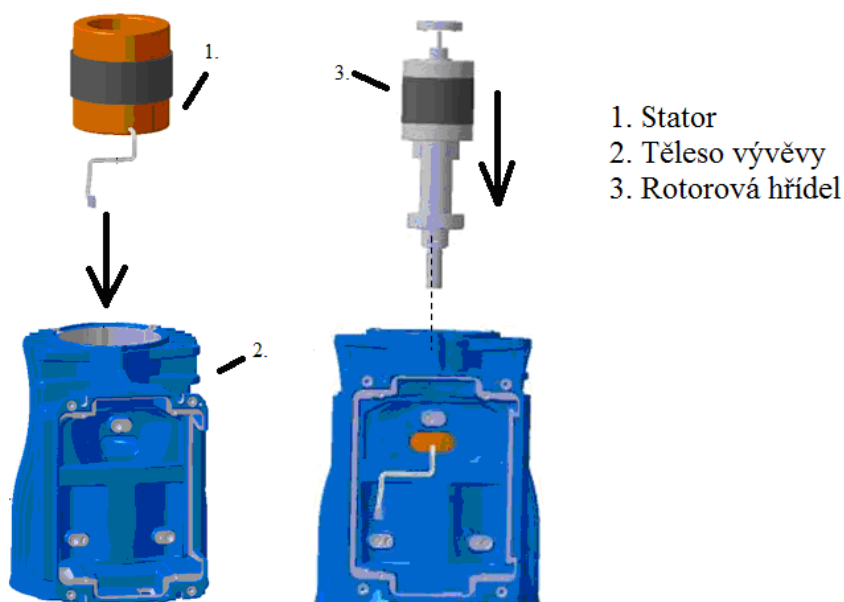
Druhé ložisko, které je umístěno na hřídeli se také lisuje s přesahem, využívá se také tepelné roztažnosti. Ložisko se vkládá do předem zahřátého talířku. Talířek je díky ohřátí na danou teplotu roztažen dostatečně na to, aby se do něj ložisko lehce zasunulo, nechá se vychladnout a následně se vkládá na rotorovou hřídel. Na výrobní lince

nalezneme tento postup na: 2. *Nahřátí a montáž rotoru a ložiska na hřídel, nahřátí a montáž ložiska do víka.*



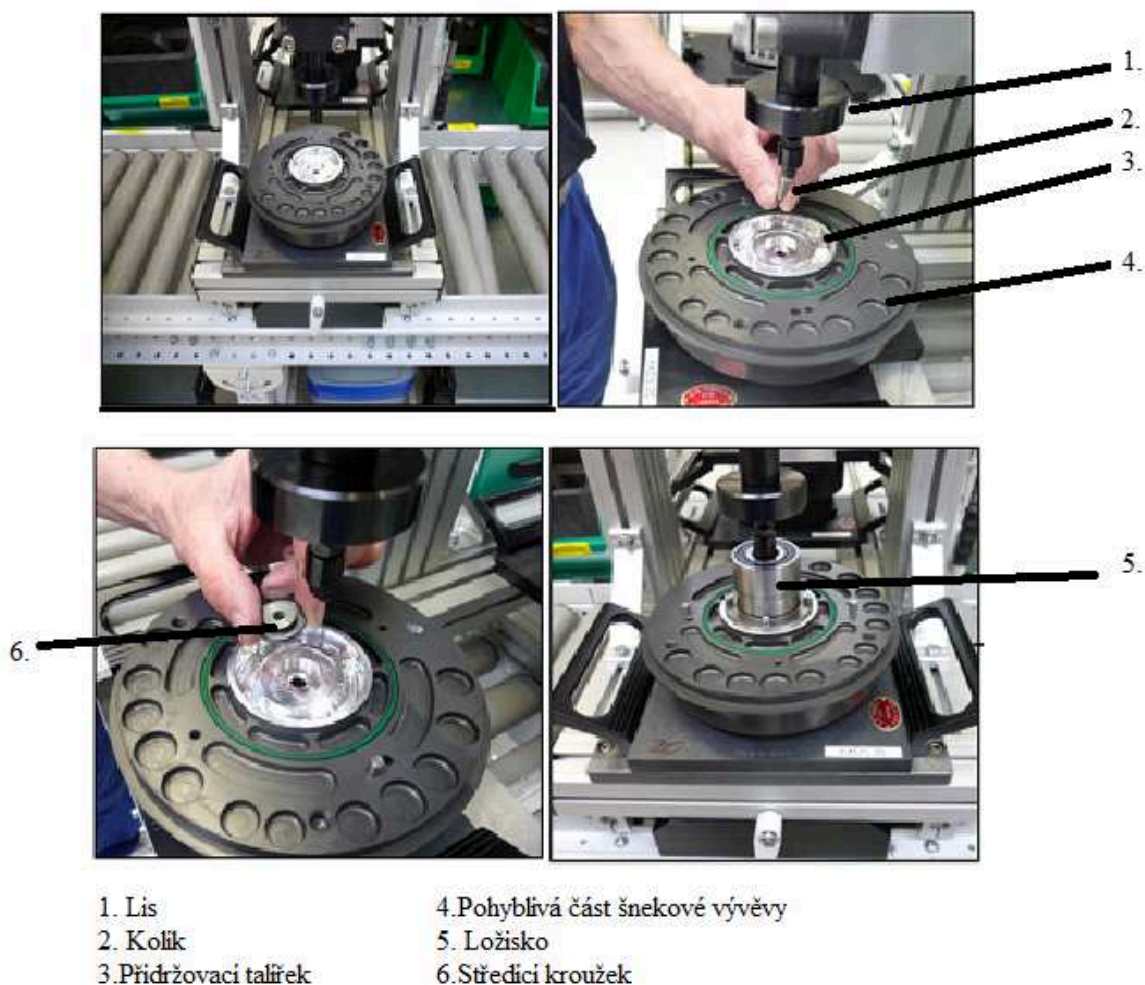
Obr. 3.2. Uložení ložiska do talířku

Dále se s přesahem ukládá stator elektromotoru do těla vývěvy, zde je taktéž využíváno tepelné roztažnosti, v tomto případě se nahřívá těleso vývěvy a stator se do něj vkládá při teplotě 21°C. Uložení pevně zajistíme stator v tělesu. Následuje vložení rotoru s ložiskem do tělesa vývěvy se statorem. Postup těchto prací vykonáváme na: 3. *Nahřátí tělesa vývěvy a následné vkládání dílů elektromotoru.* Výpočtem teploty pro vkládání dílů se zabývám v následující podkapitole.



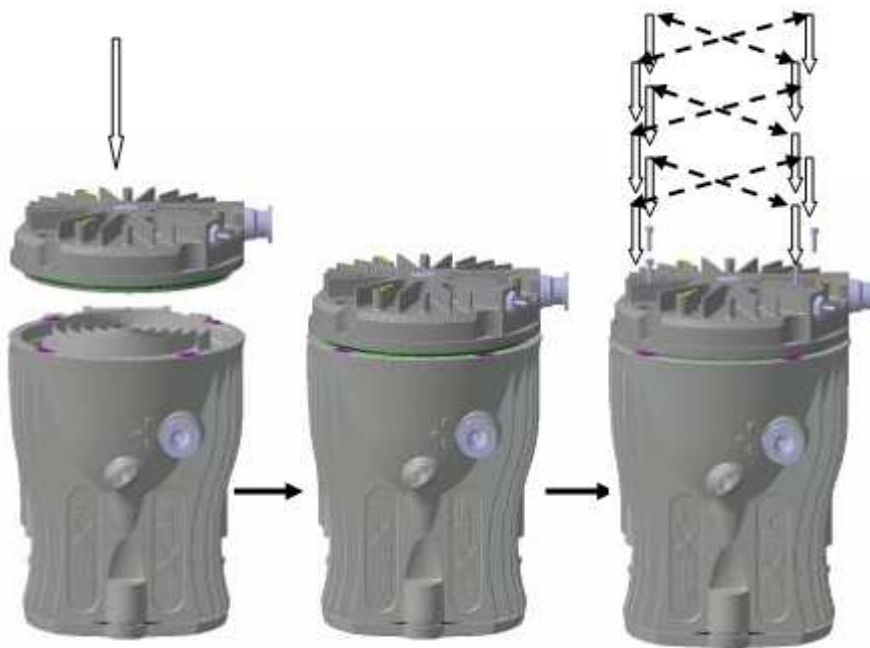
Obr. 3.3. Montáž statoru a následně rotoru do tělesa vývěvy

Poslední uložení s přesahem je řešeno až při kompletaci samotné vývěvy, lisem je nalisován přídržovací talířek na zadní část pohyblivého šneku. Následně jsou nalisovány čepy pro vlnovec, do kroužku je nalisován středící kroužek a následně ložisko, které zajišťuje pohyb šneku. Lis je umístěn na lince pod bodem: 5. *Otočení tělesa vývěvy, vložení protizávaží a ochranného vlnovce, následná montáž pohyblivé části vývěvy.*



Obr.3.4. Postupné využití mechanického lisu

Jako uložení a přesahem zahrnu i přitlačení horní části vývěvy nepohyblivého šneku, k pohyblivé části vývěvy a následné zajištění horního víka proti pohybu čtyřmi šrouby. Šrouby je zde překonán odpor těsnícího O-kroužku. Šrouby jsou utahovány opatrně po půlotáčkách, aby nedošlo k vytlačení těsnění v případě rychlého dotažení jednoho šroubu. Tyto práce se vykonávají v bodě 8. *Montáž pevné části vývěvy a ustavování.*



Obr. 3.5. Řešení přitlaku víka

### 3.3. Výpočty montážních teplot dílců

Výpočet teploty potřebné pro ohřátí daného dílce:

Díra se musí roztáhnout o maximální hodnotu daného přesahu a k tomu ještě o montážní vůli, ta je důležitá pro snadné nasazení studeného dílu do ohřátého náboje. Velikost montážní vůle se doporučuje volit:

$$v_{mm} \geq (0,006 \div 0,012) \cdot \sqrt{d_{mm}} \quad (3.1)[5]$$

Náboj se pak ohřívá na teplotu

$$t_n = t_h + \frac{\Delta d + v}{\beta_n \cdot d} \quad (3.2)[5]$$

Teplota ohřevu se volí v takových mezích, kdy ještě nenastává změna ve struktuře materiálu a degradace maziva. Mezi know-how firmy patří materiál, z něhož je domeček a rotorová hřídel vyrobený, dále také přesahy, které jsou použity na těchto dílech. Z těchto důvodů volím pro názorný výpočet teplotní roztažnosti nepoužívanější přesahy a součinitele teplotních roztažností.

### Návrh teploty ohřátí ložiska:

Konstrukční doporučení pro uložení s přesahem u spojů nasazených za tepla pro ložiskový náboj průměru 30 mm jsem zvolil nejpoužívanější H7/u7, pro průměr hřídele  $d=30$  mm je nejvyšší přesah  $\Delta d=0,069$  mm. To znamená, že průměr v náboji musí být po zahřátí 30,069 mm. K této hodnotě je nutno zvolit potřebnou montážní vůli  $v_{mm}$ . Součinitel teplotní roztažnosti  $\beta_n = 25 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ . Hřídel je vkládána do ložiska nezchlazená a má teplotu  $t_h = 20^\circ C$ . [6]

$$v_{mm} \geq (0,006 \div 0,012) \cdot \sqrt{30}$$

$$v_{mm} \geq 0,0328 mm$$

Potřebná teplota pro zahřátí ložiska:

$$t_n = 20 + \frac{0,069 + 0,0328}{25 \cdot 10^{-6} \cdot 30}$$
$$t_n = 155^\circ C$$

Ve firmě Edwards je používána teplota pro ohřev ložiska  $130^\circ C$ , ložisko jsou schopni na hřídel nasunout. Můj výpočet teploty je vyšší díky jinak zvolenému přesahu. Nicméně doporučuji ochlazování hřídele kyslíčnickem uhlíčitým ( $-70^\circ C$ ) nebo zkapalněným vzduchem ( $-190^\circ C$ ). Tohle doporučení trvá i pro montážní teplotu  $130^\circ C$ , při téhle teplotě totiž už degraduje mazivo uvnitř ložiska.

### Návrh teploty ohřátí talířku:

Zde jsem řešil přesah stejně jako v předchozím případě H7/u7, pro průměr vkládaného ložiska  $d=52$  mm je nejvyšší přesah  $\Delta d=0,117$  mm. Průměr talířku po zahřátí musí být 52,117 mm, k tomuto je zapotřebí přičíst potřebnou montážní vůli  $v_{mm}$ . Součinitel teplotní roztažnosti jsem volil  $\beta_n = 35 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ . Ložisko, které vkládáme má teplotu  $t_h = 20^\circ C$ . [6]

$$v_{mm} \geq (0,006 \div 0,012) \cdot \sqrt{52}$$

$$v_{mm} \geq 0,0432 mm$$

Potřebná teplota pro zahřátí talířku:

$$t_n = 20 + \frac{0,0432 + 0,117}{35 \cdot 10^{-6} \cdot 52}$$

$$t_n = 108^\circ\text{C}$$

Na lince se používá teplota pro zahřátí  $90^\circ\text{C}$ , mnou spočítaná teplota je způsobena nesprávně zvoleným přesahem.

### Návrh teploty ohřátí tělesa vývěvy

Konstrukční doporučení pro uložení s přesahem u spojů lisovaných za tepla pro velikost náboje (díry uvnitř tělesa) 125 mm jsem volil nejpoužívanější H7/s6, pro průměr vkládané hřídele (v našem případě statoru) průměru 125 mm je nejvyšší přesah  $\Delta d = 0,117$  mm. Průměr díry v tělesu vývěvy musí být po zahřátí 125,117 mm. Součinitel teplotní roztažnosti  $\beta_n = 15 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . Stator je vkládán do tělesa nezchlazený a má teplotu  $t_h = 20^\circ\text{C}$ . [6]

$$v_{mm} \geq (0,006 \div 0,012) \cdot \sqrt{125}$$

$$v_{mm} \geq 0,134 \text{ mm}$$

Potřebná teplota pro zahřátí tělesa vývěvy:

$$t_n = 20 + \frac{0,134 + 0,117}{15 \cdot 10^{-6} \cdot 125}$$

$$t_n = 154^\circ\text{C}$$

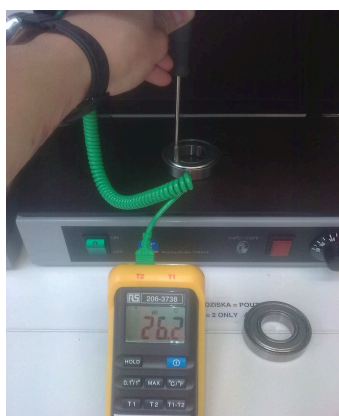
Ve firmě Edwards probíhá ohřev na teplotu  $150^\circ\text{C}$ . Mé výpočty se tedy téměř shodují a není zapotřebí vznášet jakýkoliv návrh na změnu teploty.

#### 4. Návrh přípravků pro uložení dílců s přesahem a montážního přípravku

Společnost v době zadání diplomové práce uvažovala nad přípravky, které ulehčí a zpřesní montáž dílců vývěvy popřípadě zkrátí čas pro montáž. Souběžně se mnou probíhal vývoj konstrukčních přípravků i v sídle společnosti v Anglii. Jelikož nebyl žádný velký problém s dodanými přípravky, spíše jsem se zaměřil na vylepšení daných pracovních postupů měření teploty a s tím související návrhy měření teploty. Také navrhuji přípravek pro přitlačení horní části vývěvy k dolní části, tak aby horní část byla zajištěna.

##### 4.1. Měření teploty ložiska

Ohřev ložiska probíhá v indukční peci, jedna strana ložiska je položena na dně pece, celá pec má víko na uzavření a zabránění odchodu tepla. Měření teploty ložiska se uskutečňuje za pomoci doteku termočlánku, musíme otevřít pec a přitlačit jej k vnitřnímu průměru ložiska, pokud ještě teplota není dosažena, tak se pec zavře a čeká se. Postup se opakuje do té doby, než vnitřní kroužek ložiska dosáhne námi požadovanou teplotu. Ložisko je připraveno k použití jakmile na displeji teploměru naskočí hodnota 130°C. Předchozí měření teplot bylo nepřesné a stávalo se, že daný dílec ještě nebyl roztažen na danou teplotu a ložisko se zadřelo v jiné úvratí, než bylo zapotřebí. Přikládám obrázek řešení dosavadního měření teplot.



Obr. 4.1. Měření teploty ložiska

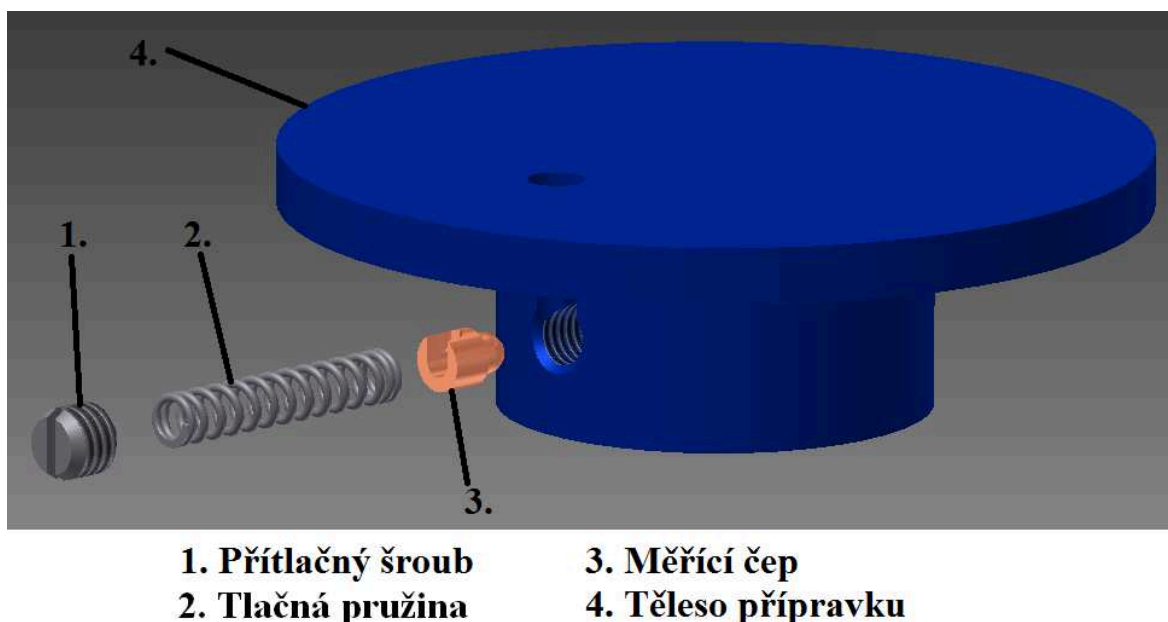


Tento způsob měření teploty je nepřesný z několika důvodů:

- měřící místo je pořád v jiné poloze, nikdy se netrefíme s termočlánkem na stejné místo
- při každém otevření víka pece uniká teplo z pece a ložisko se ochlazuje
- doba ohřátí se může prodloužit, to má negativní vliv na degradaci maziva v ložisku
- pokud změříme teplotu pozdě, tak hrozí degradace maziva v ložisku
- dělník musí strávit více času měřením teploty ložiska, tím se zkracuje jeho pracovní doba

Navrhnul jsem přípravek, ve kterém bude snímač přes vodič přímo tlačít na měřené místo. Díky potřebě vyvinutí tlaku bude minimální rozdíl mezi snímacím termočlánkem a měřeným dílcem, budou v přímém kontaktu a teplota by měla být aktuální a bez velkých rozptylů.

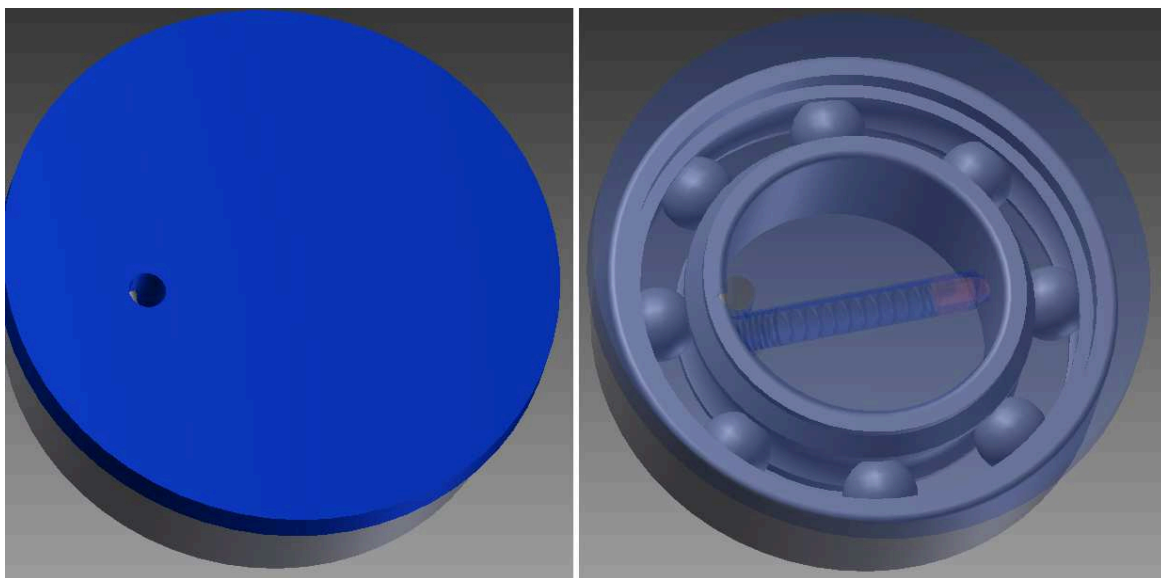
Přípravek by měl odstranit nedostatky popsané výše, jeho výrobní cena nebude vysoká, výroba bude jednoduchá, jeho správné ovládání by měl pochopit každý dělník. Kompletní výrobní dokumentace přípravku je vložena v přílohách diplomové práce.



Obr. 4.2. Návrh přípravku na měření teploty ložiska

Použití:

Horní část přípravku bez problému přikryje ložisko a tělo přípravku se lehce zasune dovnitř ložiska. Tělo přípravku má průměr navržen tak, aby se samotné dalo vložit do vnitřního kroužku ložiska s dostatečnou vůlí. Tuto vůli mi vyplní čep, který je tlačен pružinou na vnitřní stranu kroužku. Uvnitř čepu bude napevno přilepen termočlánek. Přítlačná síla pružiny stačí na dostatečný kontakt čepu s kroužkem.



Obr. 4.3. Použití přípravku na měření teploty ložiska

#### **Návrh termočláunku a jeho upevnění v čepu:**

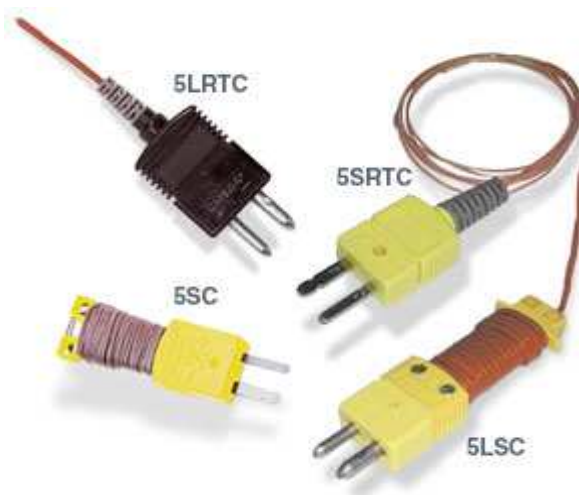
Základní podmínky pro termočlánek jsou:

- co nejkvalitnější přenos tepla z čepu na termočlánek
- měřená teplota bude v rozsahu 120-200°C
- průměr díry uvnitř čepu bude 2 mm a hloubka 15 mm, čep bude vyroben z mědi
- délka přívodního kabelu může být 1 metr
- výstup z kabelu musí být stejného typu, jako vstup do teploměru, který je v dílně
- upevňovací látka by neměla bránit přenosu signálu mezi čepem a termočlánkem
- důležitá je také cena snímače a cena upevňovací látky

Oslovil jsem společnost Jakar Electronics, spol. s r.o., která se zabývá prodejem snímačů Omega, s jejím pracovníkem Ing. Karlem Janíčkem jsme navrhli termočlánek, který by měl vyhovovat výše uvedeným požadavkům. Velký teplotní rozsah jsem volil

kvůli tomu, že tento typ termočláunku budu navrhovat i do následujícího přípravku na měření teploty uvnitř domečku.

Byl navržen model 5SRTC-GG-K-30-36 , je to sonda, která se využívá v omezeném prostoru, pro stabilní a dlouhodobý provoz za vysokých teplot.



Obr. 4.4. Termočláunkové sondy typ „K“

Jedná se o drátové termočláunkové sondy, které se dodávají v balení po 5 kusech. Sondu si můžete vytvarovat podle potřeb. Vnější průměr sond se sklo-keramickou izolací je 0.9x1.3 mm. Díky sklo-keramické izolaci je vhodná do teploty až 480 °C. Sondy mají obnažený měřicí spoj, takže mají velmi rychlou dobu odezvy. Kabel je ukončen miniaturním konektorem. Aktuální cena 5 kusů termočláunku je 1400 Kč bez DPH.

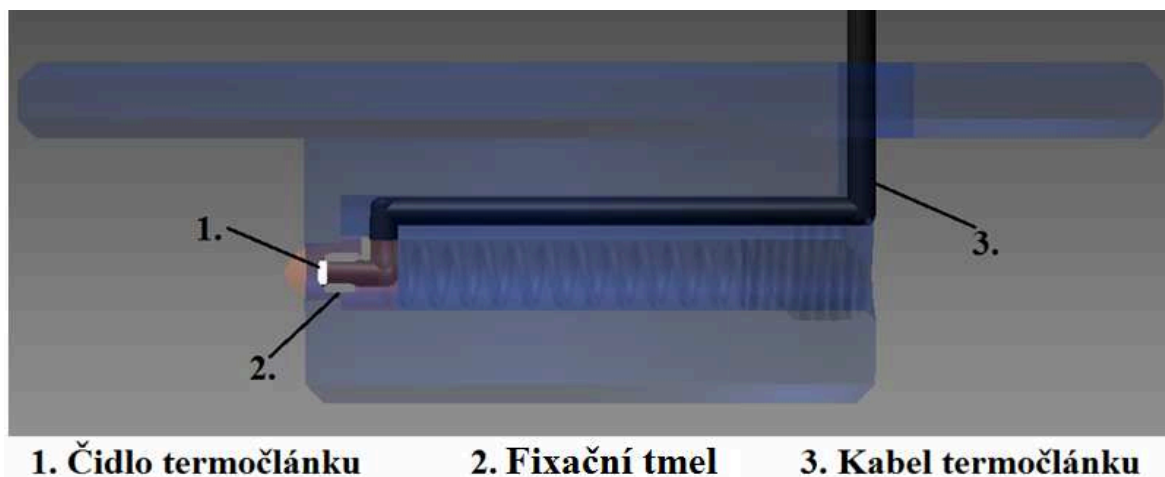
Na zafixování termočláunku v čepu by se dal využít dvousložkový tmel model OB-200-2, který je vhodný do teploty až 260 °C, jeho cena je 480 Kč bez DPH.

#### **Postup instalace termočláunku do přípravku:**

Uchopíme termočláunek a 2 mm od čidla začneme nanášet lepící tmel po celém obvodu kabelu. Takto obalíme tmelem 5 mm kabelu. Termočláunek vložíme do čepu a přitlačíme jeho hrot na dno čepu, musíme dosáhnout kontaktu mezi termočláunkem a čepem, tlačíme tak dlouho, dokud tmel neztvrdne. Po zatvrdnutí tmelu natvarujeme kabel podle obrázku 4.5., doporučuji ještě kousek kabelu přilepit do drážky čepu, aby se neopíral

o pružinu. Čep vložíme do těla přípravku, tak, aby byl kabel umístěn v drážce nad závitem, vložíme pružinu a našroubujeme přitlačný šroub.

Čep jsem navrhl vyrobit z mědi, která dobře vede teplo i elektrické napětí. Měření teploty probíhá vždy na stejném místě- vnitřní kružnice kroužku. Hlavička čepu je vždy v kontaktu s vnitřním kroužkem ložiska.



Obr. 4.5. Detail zapracování termočlánu

Termočlánek je pevně spojen s přípravkem, musí se přenášet spolu, aby nedošlo k utržení drátku. Snímač teploty i termočlánek jsou umístěny u pece, ve které se nahřívá ložisko. V případě, že by se kabel termočlánu někde opíral o ložisko, navrhuji ho v místě dotyku obalit izolantem.

#### **Výhody použití přípravku na snímání teploty:**

- navržené řešení odstraňuje nedostatky, které byly definovány na začátku této kapitoly
- měřicí místo je pořád ve stejné hloubce kroužku, otáčí se jen po vnitřním obvodu kroužku ložiska
- přípravek zůstává celou dobu na ložisku, nemusí se otvírat víko pece, nevytrácí se tak z prostoru pece horký vzduch
- doba ohřátí ložiska se zbytečně neprotahuje, jakmile dosáhne dané teploty, může se vyndat z pece

- pracovník nemusí ztrácet čas zdlouhavým měřením, stačí, když se občas podívá na displej teploměru, kde zjistí aktuální teplotu ložiska

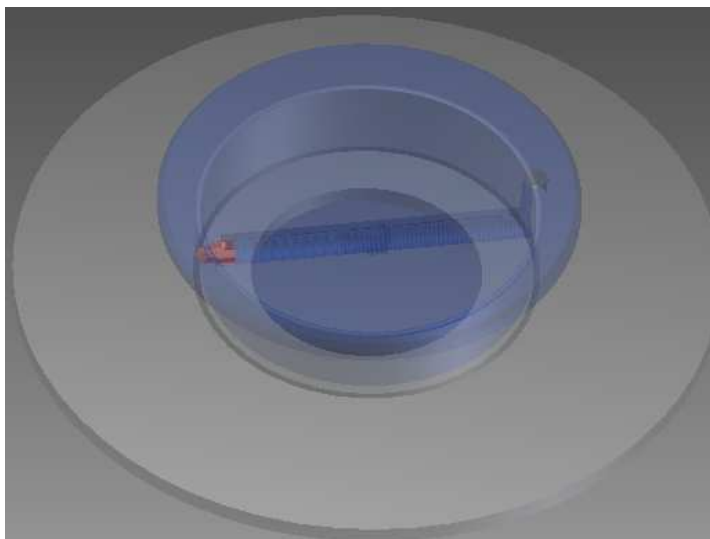
#### 4.2. Měření teploty talířku

Pece ložiska a talířku jsou na lince vedle sebe, měření teploty mají stejné, přiložením termočlánku. Teplota pro roztažení se používá 90°C. Po dosažení této teploty se do talířku vloží ložisko.



Obr. 4.6. Měření teploty talířku

Nevýhody tohoto měření jsem popsal v předchozí podkapitole, protože se obě měření teplot hodně podobají, tak navrhuji použít přípravek na stejném principu jako v předchozí podkapitole. Jediná změna bude ve větším průměru těla a delším závitu na přítlačný šroub.



Obr. 4.7. Použití přípravku na měření teploty talířku

Velkou výhodou je levnější výroba obou kusů přípravků, oba kusy mají stejné komponenty.

#### 4.3. Měření teploty tělesa vývěvy

Ohřev tělesa probíhá v peci, těleso je postaveno na stranu pro umístění vývěvy. Pec má dvířka pro zabránění odchodu tepla. Měření teploty uvnitř domečku se uskutečňuje vsunutím termočlánku do dírký pro kolík. Drátek termočlánku vede přímo do teploměru. Těleso vývěvy je připraveno k použití, jakmile na displeji teploměru naskočí hodnota 150°C. Měření teplot je nepřesné kvůli tomu, že nedochází k úplnému kontaktu termočlánku s tělesem, vše záleží na správném zasunutí termočlánku do díry. Přikládám řešení dosavadního měření teplot.



Obr. 4.8. Měření teploty tělesa vývěvy

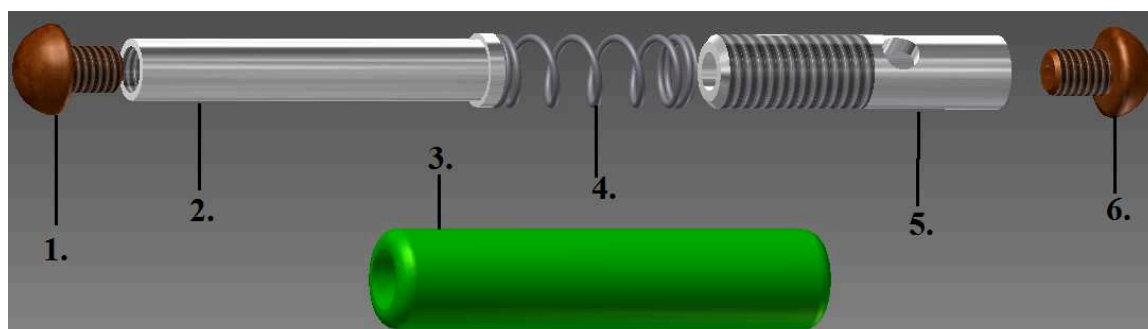
Měření teplot tímto způsobem má několik záporů:

- měřicí místo je stále v jiné poloze, nikdy se netrefíme s termočlánkem na stejné místo
- chybí přímý kontakt mezi čidlem a tělesem vývěvy- měříme teplotu vzduchu
- manipulace se snímačem je nepohodlná a hrozí možnost popálení

Také zde se občas vlivem špatného měření znehodnotí celý díl. Navrhnul jsem přípravek, který bude tlačít snímač přímo na měřené místo. Díky vyvinutí tlaku na stěnu tělesa bude termosnímač v přímém kontaktu a teplota by měla být aktuální a bez velkých rozptylů. Snímací přípravek bude také možné vložit na libovolné místo měřeného dílce, tím můžeme dosáhnout měření teploty vždy ve stejné poloze.



Obr. 4.9. Návrh přípravku na měření teplot domečku

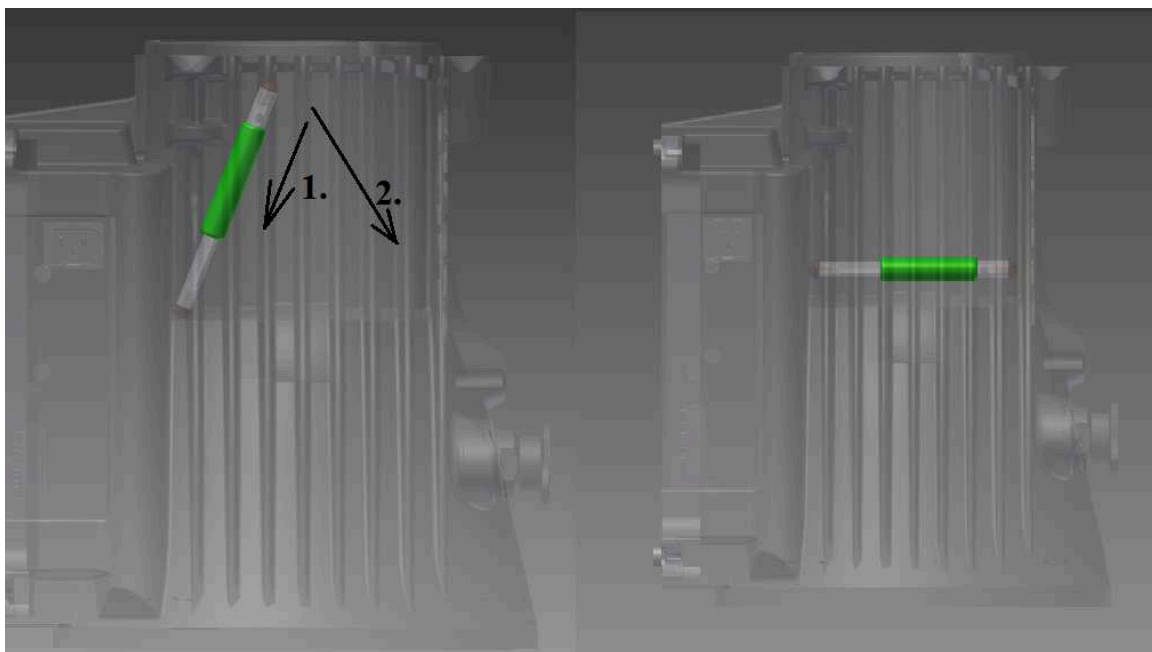


- |                                  |                              |
|----------------------------------|------------------------------|
| <b>1. Měřicí čep</b>             | <b>4. Tlačná pružina</b>     |
| <b>2. Pohyblivá část rozpěry</b> | <b>5. Pevná část rozpěry</b> |
| <b>3. Tělo rozpěry</b>           | <b>6. Měřicí čep</b>         |

Obr. 4.10. Přípravek na měření teploty domečku- popis dílů

### Použití:

Měřicí čep umístěný na pohyblivé části rozpěry opřeme o spodní hranu domečku, v místě, ve kterém dosedá stator. Přitlačíme tělo rozpěry ve směru pohyblivé části rozpěry (znázorněno na obr. 4.11., bod 1), stlačením pružiny uvnitř se zmenší celková délka přípravku. Nyní můžeme přiklopit i pevnou část rozpěry s druhým měřícím čepem ke spodní hraně domečku (znázorněno na obr. 4.11., bod 2).



Obr. 4.11. Použití přípravku na měření teploty domečku

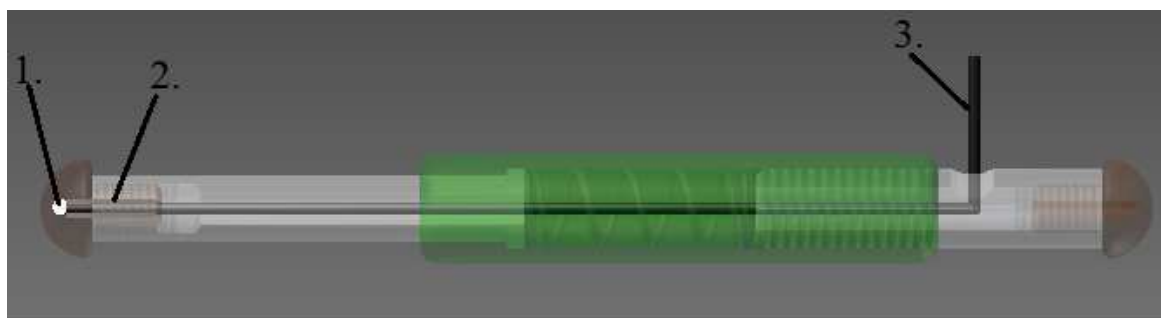
Přípravek je vymyšlen tak, že je možné do něj umístit dva termočlánky. Navržené snímání teploty je obdobné jako u předchozího přípravku, je to měření teploty přitlačného čepu. Ten je v přímém kontaktu s měřenou stěnou. Čep bude vyroben z vodiče napětí a tepla, navrhuji měď. V čepech jsou vyvrtané díry o průměru 2 mm, tloušťka stěny, která zůstane na špičce čepu je 2 mm. Celá výrobní dokumentace je umístěna v přílohách diplomové práce. Typ termočlánku i upevňovací tmel jsou navrženy stejné jako v případě měření teploty ložiska.

### Popis vložení termočlánků:

Termočlánek provlečeme pevným ramenem přípravku, tlačnou pružinou a tělem přípravku, následně jej vsuneme do pohyblivého ramena, čidlo potřeme po obvodu tmelem, vynecháme jenom hrot a okolí 2 mm pod ním. Vsuneme jej do čepu a přitlačíme



hrot na dno čepu, tak aby se dotýkali, počkáme do zatvrdnutí tmelu. Po zatvrdnutí fixační látky můžeme celý přípravek složit, je připraven k měření teploty.



1. Čidlo termočlánku      2. Fixační tmel      3. Kabel termosnímače

Obr. 4.12. Vložení termočlánků do přípravku

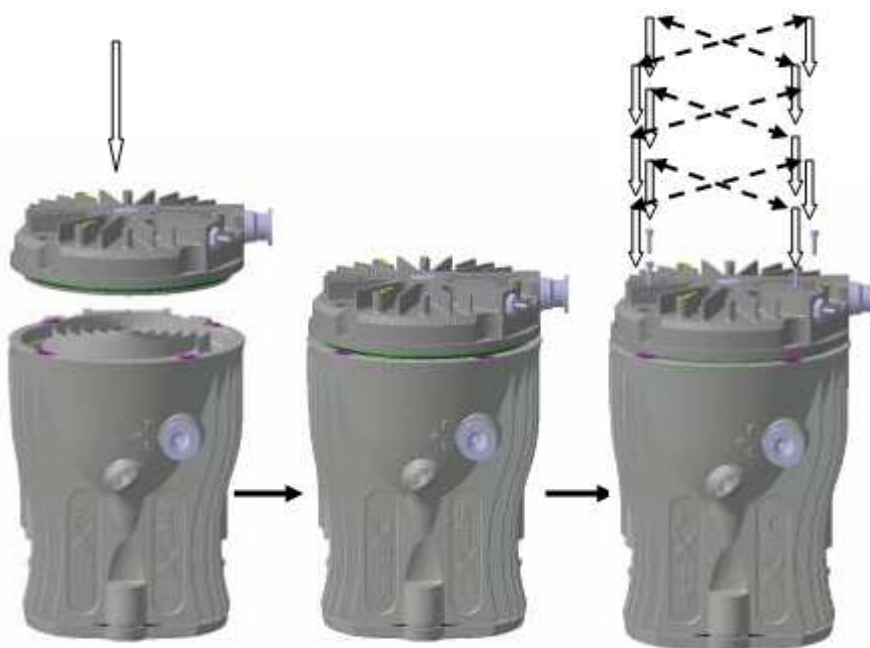
V místě dotyku kabelu s tělesem vývěvy navrhuji kabel omotat vhodnou izolací.

#### **Výhody použití přípravku na snímání teploty:**

- měřicí místo si můžeme zvolit v libovolné výšce od spodní hrany domečku, to můžeme také otáčet po celém obvodu otvoru
- přípravek zůstává celou dobu v domečku, nemusí se otvírat víko pece, nevytrácí se tak z prostoru pece horký vzduch
- doba ohřívání domečku se zbytečně neprotahuje
- pracovník nemusí ztrácet čas zdoluhavým měřením, stačí, když se občas podívá na displej teploměru, tak zjistí aktuální teplotu ložiska

#### 4.4. Přípravek pro přitlačení horního víka

Poslední krok kompletace vývěvy je našroubování horního nepohyblivého dílu - šneku. Ten je nasazen do pohyblivého dílu, vůli mez oběma díly vyplňuje těsnění. Proti otáčení je díl zajištěn kolíky. Horní díl je přišroubován k tělesu vývěvy čtyřmi šrouby, jejichž utahovací moment je 9 Nm. Přitahování šroubů je řešeno střídavě do kříže, nemělo by se utáhnout o více než půl otáčky najednou. Pokud se některý šroub utáhne víc, než ostatní hrozí vytlačení těsnění ze své drážky a následné problémy s chodem vývěvy.

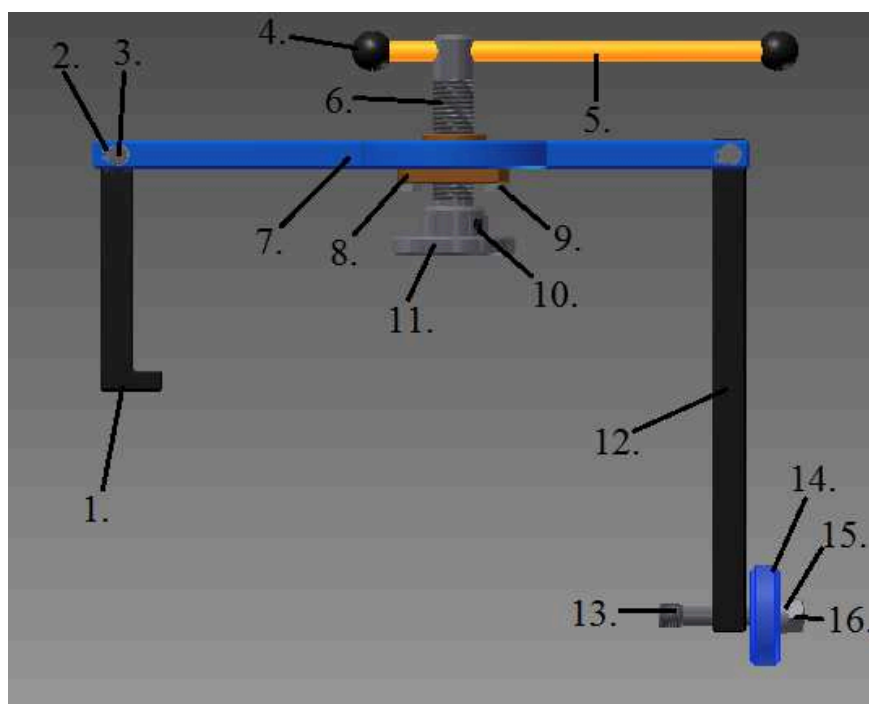


Obr. 4.13. Řešení přitlaku víka

Nevýhody tohoto způsobu utahování vidím v:

- dlouhé době utahování víka
- stále možnosti poškození těsnění rychlým utahováním šroubů

Navrhuji víko přitlačit najednou stahovákem. Stahovák bude sloužit k překonání tlačné síly O-kroužku, po překonání této síly dosedne víko rovnoměrně ke spodní části vývěvy. Tím by se mělo zabezpečit bezpečné přitlačení těsnícího kroužku mezi díly vývěvy. Stažením víka až k tělesu vývěvy můžeme utahovat šrouby najednou na požadovaný moment.



- |                           |                          |
|---------------------------|--------------------------|
| 1. Pevné rameno           | 9. Šroub matice          |
| 2. Pojistný kroužek       | 10. Pojistný šroub válce |
| 3. Čep ramena             | 11. Přítlačný válec      |
| 4. Kulička utahovací tyče | 12. Pohyblivé rameno     |
| 5. Uťahovací tyč          | 13. Kolík se závitem     |
| 6. Tlačný válec           | 14. Uťahovací válec      |
| 7. Tělo přípravku         | 15. Pružná podložka      |
| 8. Bronzová matice        | 16. Pojistná matice      |

Obr. 4.14. Přípravek pro přitlačení horního víka- popis dílů

Pevné rameno je vsunuto s přesahem do těla stahováku. Tím, že je rameno pevné se zabrání vysunutí patky z odlitku, odlitek nemá kolmou plochu k patce, ale plocha je díky odlévání mírně zkosená. Proti vysunutí je rameno pojištěno čepem. Pohyblivé rameno je k tělu stahováku také připevněno čepem, na druhém konci je díra, do které se s mírnou vůlí vkládá kolík se závitem, ten slouží k pevnému přichycení k tělesu vývěvy. Otáčením utahovací tyče ve směru hodinových ručiček se do těla stahováku zasouvá válec se závitem. Závít je volen lichoběžníkový rovnoramenný pro jeho rychlý chod a samosvornost. Válec vykonává axiální pohyb a přes tlačný válec vyvíjí přítlačnou sílu na víko vývěvy. Kompletní výrobní dokumentace přípravku je přiložena v přílohách diplomové práce. Hmotnost přípravku jsem počítal s pomocí programu Autodesk Inventor Professional na 2,01 Kg.



Obr. 4.15. Přitlačení horního víka

#### **Výpočet síly, kterou je přitaženo víko:**

Víko je utaženo čtyřmi šrouby, každý šroub je utažen silou 9 Nm. Závit na šroubu je M5 x 0,8. Z daných hodnot jsem schopen vypočítat přibližnou osovou sílu na každém šroubu. Na šrouby působí statická provozní síla. Hodnoty použité k výpočtům byly vyhledány ve strojnických tabulkách pro daný typ závitu.

Používané značky:

- $M_u$  [Nmm] - utahovací moment 9 Nm
- $F_o$  [N] - osová síla
- $\beta$  [deg] - vrcholový úhel závitu  $60^\circ$
- $p$  [m] - rozteč závitu 0,8
- $d_2$  [mm] - střední průměr závitu 4,480 mm
- $d_3$  [mm] - malý průměr závitu šroubu 4,019 mm
- $D_m$  [mm] - roztečný průměr třecí plochy 8,0 mm
- $f_2$  [-] - součinitel smykového tření v závitu 0,19-0,36 volím 0,36
- $f_m$  [-] - součinitel smykového tření mezi maticí a podložkou 0,15-0,22 volím 0,22 [5], [6]

Postup výpočtu utahovací osově síly:

- třecí úhel:

$$\varphi = \frac{\arctan f_2}{\cos\left(\frac{\beta}{2}\right)} \quad (4.1) [5]$$

$$\varphi = \frac{\arctan 0,36}{\cos\left(\frac{60}{2}\right)}$$

$$\varphi = 22,57 = 22^\circ 34' 20''$$

- úhel stoupání závitů:

$$\gamma = \arctan\left(\frac{p}{\pi \cdot d_2}\right) \quad (4.2) [5]$$

$$\gamma = \arctan\left(\frac{0,8}{\pi \cdot 4,48}\right)$$

$$\gamma = 3,25 = 3^\circ 15' 11''$$

Celkový utahovací moment:

$$M_u = Fo \cdot \left[ f_m \cdot \frac{D_m}{2} + \tan(\gamma + \varphi) \cdot \frac{d_2}{2} \right] \quad (4.3) [5]$$

Z této rovnice vyplývá, že utahovací osová síla je:

$$Fo = \frac{M_u}{\left[ f_m \cdot \frac{D_m}{2} + \tan(\gamma + \varphi) \cdot \frac{d_2}{2} \right]}$$

$$Fo = \frac{9000}{\left[ 0,22 \cdot \frac{8}{2} + \tan(3,25 + 22,57) \cdot \frac{4,48}{2} \right]}$$

$$Fo = 4500N$$

Osová síla je síla předpětíová, která je dosažená ve spoji po jeho utažení. Síla, kterou potřebuji k vymezení vůlí je nižší. Aby se předešlo zbytečnému předimenzování přípravku, odměřila se síla potřebná k překonání O-kroužku. Na víko se pokládalo závaží, při hmotnosti 50 kg došlo k úplnému překonání odporu O-kroužku a víko plně dosedlo k tělesu vývěvy. Nadále proto budu uvažovat přítlačnou sílu pro přípravek 500N.

### Výpočet průměru závitu:

Působící přítlaková síla:  $F = 500\text{N}$

Závít lichoběžníkový rovnoramenný, materiál 11500, provozní podmínky jsou dynamické míjivé, šroub je vystaven změnám při zatěžování.

$$R_e = 265\text{MPa}$$

$$\sigma_D \cong 0,45 \cdot R_e \quad (4.4) [6], [7]$$

$$\sigma_D \cong 0,45 \cdot 265 = 120\text{MPa}$$

Namáhání na tlak:

- $S_1$  plocha nosného průřezu šroubu ( $\text{mm}^2$ )
- $d_3$  malý průměr závitu šroubu (mm)

$$\sigma_D \geq \frac{F}{S_1} \quad (4.5) [7]$$

$$S_1 = \frac{F}{\sigma_D}$$

$$S_1 = \frac{500}{120} = 4,166\text{mm}^2$$

$$S_1 = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} \rightarrow d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_1}{\pi}} \quad (4.6) [7]$$

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,166}{\pi}} = 2,30\text{mm}$$

Minimální průměr plochy mezi závity je 2,3 mm, s přihlédnutím ke snadnější výrobě a konstrukci navrženého stahováku navrhuji dle ČSN 015050 **TR 20x4**. [6]

### Výpočet minimální výšky matice:

Matici navrhuji vyrobit z bronzu, provozní podmínky budou statické, matice není pohyblivá část. Pro statické zatížení pohyblivých šroubů uvažuji dovolené napětí  $p_D = 15\text{MPa}$ . [5]

Používané značky a hodnoty pro TR 20x4

- $S_{p1}[\text{mm}^2]$  -výpočtová styková plocha
- $d[\text{mm}]$  -velký průměr závitu šroubu: 20mm
- $D_1[\text{mm}]$  -malý průměr závitu matice: 16mm
- $d_2[\text{mm}]$  -střední průměr závitu šroubu: 18mm
- $H_1[\text{mm}]$  -nosná hloubka závitu
- $z$  -počet závitů
- $p[\text{mm}]$  -stoupání závitu:4 mm [6]

Výpočtové rovnice:

$$\frac{F}{S_{p1}} \leq p_D \quad (4.7) [7]$$

$$S_{p1} = \pi \cdot d_2 \cdot H_1 \quad (4.8) [7]$$

kde:

$$H_1 = \frac{d - D_1}{2} \quad (4.9) [7]$$

$$H_1 = \frac{20 - 16}{2} = 2$$

$$z = \frac{b}{P} \quad (4.10) [7]$$

Dále dosazují do rovnic:

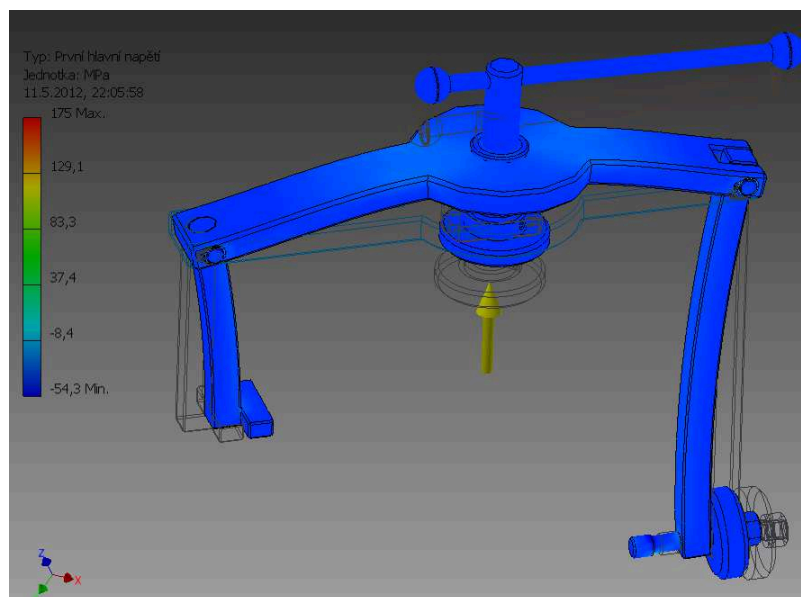
$$S_{p1} = \pi \cdot 18 \cdot 2 \cdot \frac{b}{4}$$

$$S_{p1} = 28,2 \cdot b$$

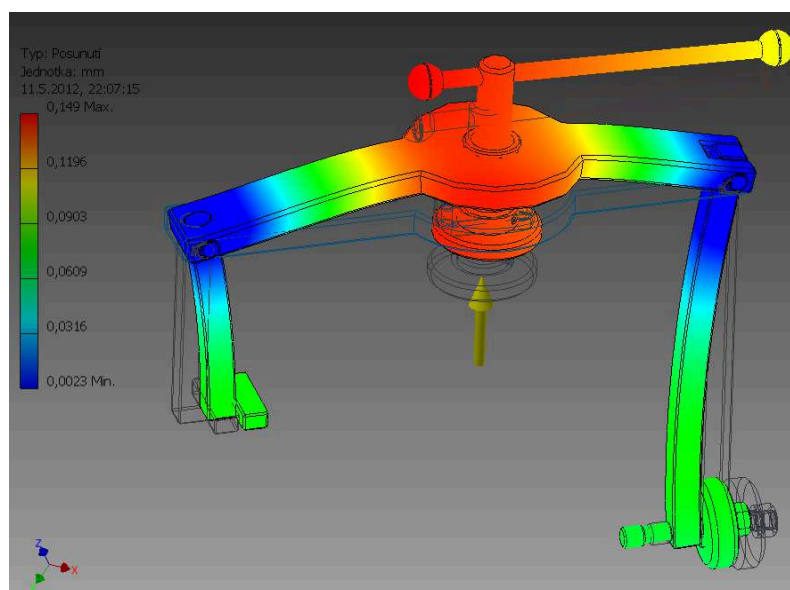
$$28,2 \cdot b = \frac{F}{p_D} = \frac{500}{15} \rightarrow b = 1,18 \text{ mm}$$

Minimální výška matice je 1,18 mm, z konstrukčního a výrobního hlediska volím délku bronzové matice **25 mm**. Šířku stěny matice jsem zvolil stejnou jako u běžně prodávaných bronzových matic se stejným závitem.[8] Kompletní výrobní dokumentace je přiložena v přílohách.

V programu Autodesk Inventor Professional jsem navrhl pevnostní analýzu pro navrženou sestavu.



Obr. 4. 16. Pevnostní analýza- první hlavní napětí



Obr. 4. 17. Pevnostní analýza- posunutí

Z výsledků pevnostní analýzy (Obr. 4. 16.) je možné najít nejvíce namáhaná místa, patří sem čepy ramen a kolík zašroubovaný do tělesa vývěvy, na ostatních dílech se napětí rozloží a nepůsobí kriticky. Z obr. 4. 17. je vidět, že tlačný válec bude po působení zatěžující síly 500N vysunut o 0,149 mm.



## **5. Úprava pracovního postupu**

V této kapitole navrhnu správné používání mnou navržených přípravků. Každý pracovník by se měl seznámit s konstrukcí přípravku. Pokud by došlo k nějaké nepřesnosti v měření teploty, měl by pracovník sám odhalit způsobenou závadu, přípravky pro měření teploty nejsou konstrukčně náročné a pochopit jejich správnou funkci by měl každý pracovník, který sestavuje vývěvu. Všechny přípravky navrhuji před zařazením do provozu několikrát vyzkoušet a ověřit jejich funkčnost. Pracovníkům na lince by mělo být názorně předvedeno použití jednotlivých přípravků.

### **5.1. Pracovní postup pro přípravek na měření teploty ložiska**

- vyndat ložisko NSK 6304 ze skříně
- vložit ložisko do pece
- do ložiska nasunout přípravek na měření teploty ložiska
- přitlačit víko přípravku k horní hraně ložiska
- zavřít pec, spustit ohřev
- zkontrolovat zasunutí kabelu termočlánku do přístroje, zapnout přístroj na měření teploty
- kontrolovat teplotu
- po dosažení teploty 130°C otevřít pec a vyndat ložisko i s přípravkem
- vysunout přípravek z ložiska
- nasunout ložisko na hřídel

Názorné předvedení použití přípravku je na Obr. 4.3. Použití přípravku na měření teploty ložiska.

## **5.2. Pracovní postup pro přípravek na měření teploty talířku**

- vyndat talířek ze skříně
- vložit talířek do pece
- nasunout na talířek přípravek na měření teploty
- přitlačit víko přípravku k horní hraně, zavřít pec, spustit ohřev
- zkontrolovat zasunutí kabelu termočlánku do přístroje, zapnout přístroj na měření teploty
- kontrolovat teplotu
- po dosažení teploty 90°C otevřít pec a vyndat talířek s přípravkem
- vysunout přípravek z talířku
- do talířku vložit ložisko NSK 6206

Názorné předvedení použití přípravku je na Obr. 4.7. Použití přípravku na měření teploty talířku.

## **5.3. Pracovní postup pro přípravek na měření teploty tělesa vývěvy**

- vyndat těleso vývěvy ze skříně na stůl tak, aby díra pro stator směřovala nahoru
- pohyblivou část přípravku vsunout do díry
- měděný čep pohyblivé části opřít mezi dno a stěnu díry
- stlačit tělo přípravku a zasunout pohyblivou část do těla přípravku
- opřít druhý čep o dno díry
- povolit stlačení těla přípravku
- zavřít pec, spustit ohřev

- zkontrolovat zasunutí kabelu termočlánku do přístroje, zapnout přístroj na měření teploty
- kontrolovat teplotu
- po dosažení teploty 150°C vyndat těleso vývěvy z pece
- opačným postupem vkládání vyndat přípravek z díry
- uložit do tělesa stator a rotorovou hřídel

Názorné předvedení použití přípravku je na Obr. 4.11. Použití přípravku na měření teploty domečku.

#### **5.4. Pracovní postup pro montáž přitlačného přípravku**

- položíme horní část vývěvy na těleso vývěvy
- pohyblivé rameno odklopíme do polohy rovnoběžné s tělem přípravku
- přiložíme přípravek, patku pevného ramena zasuneme pod hranu tělesa vývěvy
- tlačný válec položíme na víko vývěvy, přiklopíme pohyblivé rameno kolmo k tělu přípravku
- kolík na pohyblivém ramenu našroubujeme do závitové díry tělesa přípravku, utáhneme pouze rukou
- otáčíme utahovací tyčí až po vymezení všech vůlí mezi přípravkem a víkem
- otočíme o jednu a čtvrt otáčky, dojde k posuvu víka o 5 mm, tím dojde k přitlačení víka k tělesu vývěvy
- vložíme a dotáhneme šrouby na požadovaný moment
- opačným postupem vložení demontujeme přitlačný mechanismus

Názorné předvedení použití přípravku je na Obr. 4.15. Přitlačení horního víka.

## 6. Porovnání navržených přípravků s přípravky firmy Edwards

V kapitole srovnám přípravky, které jsem navrhnul v této diplomové práci spolu s přípravky, které byly navrženy společností Edwards. Uvedu možné nedostatky mých přípravků a možné nedostatky přípravků navržených společností Edwards.

### 6.1. Měření teploty ložiska

Měření teploty probíhá položením přípravku na ložisko, v přípravku je zhotovena drážka, do které je vložen termočlánek. Měřená teplota je na horní hraně ložiska.

Mnou navržený přípravek má také uvnitř zabudovaný termočlánek, v mém případě je termočlánek fixován tmelem. Termočlánek měří teplotu uvnitř kroužku ložiska.



Obr. 6.1. Nové měření teploty ložiska

Výhody tohoto přípravku proti mnou navrženému přípravku:

- snadnější výroba
- složení přípravku je nenáročné
- přímý kontakt snímače s ložiskem
- termočlánek nepřebírá teplotu přípravku

Nevýhody tohoto přípravku proti mnou navrženému přípravku:

- výška přípravku brání plnému zavření pece

- měří se teplota na horní hraně ložiska, důležitá je teplota na vnitřní stěně kroužku, tam se vsunuje hřídel
- vysoká cena termočlánku

## 6.2. Měření teploty talířku

Měření je založeno na stejném principu jako v předešlém bodě, v přípravku zabudovaný termočlánek a přípravek je celou dobu měření položen na talířku. Měří se teplota horní hrany talířku.

Mnou navržený přípravek má také uvnitř zabudovaný termočlánek, v mém případě je termočlánek fixován tmelem. Termočlánek měří teplotu uvnitř talířku.



Obr. 6.2. Nové měření teploty talířku

Výhody tohoto přípravku proti mnou navrženému přípravku jsou stejné jako u přípravku na měření ložiska, protože oba způsoby jsou na stejném principu:

### 6.3. Měření teploty uvnitř tělesa přípravku

I zde probíhá měření na stejném způsobu jako výše uvedené, termočlánek je zabudován na dně přípravku, přípravek se vloží do díry. Termočlánek přímo dosedne na dno díry. Měří se teplota dna díry.

Mnou navržený přípravek má uvnitř zafixován termočlánek, k vložení do tělesa přípravku se musí vyvinout síla 10 N. Měření teploty probíhá na stěně díry 10 mm od dna.



Obr. 6.3. Nové měření teploty tělesa vývěvy

Výhody tohoto přípravku proti mnou navrženému přípravku:

- přímý kontakt snímače s tělesem vývěvy
- termočlánek nepřebírá teplotu přípravku

Nevýhody tohoto přípravku proti mnou navrženému přípravku:

- vyšší hmotnost
- měří se teplota na dně tělesa, důležitá je teplota na vnitřní stěně tělesa, tam se vkládá stator
- vysoká cena termočlánu

## 7. Závěr

V úvodních kapitolách jsem popsal vakuum, jeho měření a druhy vývěv, došlo k seznámení s funkcí a konstrukcí vývěv. Dále jsem popsal společnost Edwards a jejich nově vyvíjenou vývěvu nXDS. Na výrobní lince byly popsány postupy prací, které je nutné vykonat při ukládání dílů s přesahem.

Se zaměstnanci společnosti byly konzultovány nedostatky při montáži těchto dílů, navrhl jsem proto přípravky, které usnadní a zrychlí montáže dílů s přesahem.. Také jsem se věnoval návrhu přípravku na přitlačení víka vývěvy, s tímto problémem mají zaměstnanci na lince dlouhodobé potíže.

Všechny přípravky na měření teploty pracují na stejném principu, je zvolen termočlánek, který má snímat teplotu ohřátého dílu. Termočlánek je pevně zabudován do těla přípravku. Přípravek vyvíjí tlačnou sílu na snímané místo, tím zajišťuje dobrý kontakt mezi snímačem a snímaným místem. Jsou popsány postupy prací pro navržené přípravky. Měření teploty probíhá uvnitř pece po celou dobu ohřevu. Práce s přípravky je jednoduchá a bezpečná. Jelikož už má společnost vyrobené přípravky na měření teploty, tak bych doporučil zatím nevyrábět moje přípravky. Doporučil bych jejich výrobu až v případě potíží s měřením teploty, úniku tepla z pece nebo závadě na termočlánek.

Přípravek na přitlačení horního víka vyvíjí osovou sílu na střed víka, tím dojde k rovnoměrnému zasunutí víka do tělesa přípravku a nepoškodí se těsnění. Značně se tím urychlí doba montáže horního víka. Také zde je popsán postup prací pro navržený přípravek. Přípravek na přitlačení horního víka doporučuji vyrobit a ověřit jeho vlastností v praxi.

Na závěr jsem porovnal přípravky navržené konstruktéry společnosti Edwards s mými přípravky, uvedl jsem jejich výhody a nevýhody.

## 8. Seznam použitých pramenů

- [1] Vakuum. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Vakuum>
- [2] Vakuová technika. ERBEN, Milan. *Http://www.upce.cz* [online]. Univrzita Pardubice, 2008 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.upce.cz/fcht/koanch/soubory/vakuum-erben.pdf>
- [3] GROSZKOWSKI, Janusz a Libor PÁTÝ. *Technika vysokého vauka*. Praha: SNTL, 1981. ISBN 166714-12386/81.
- [4] Silové spoje. MITCALC. *Http://www.mitcalc.cz* [online]. [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.mitcalc.cz/doc/shaftconf/help/cz/shaftconf.htm>
- [5] DEJL, Zdeněk. *Konstrukce strojů a zařízení I: spojovací části strojů. Návrh, výpočet, konstukce*. Ostrava: Montanex, 2000, 225 s. ISBN 80-722-5018-3.
- [6] LEINVEBER, Jan. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 3. dopl. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006, xiv, 914 s. ISBN 80-736-1033-7.
- [7] Svěrka. SPS-VÍTKOVICE. *Http://www.sps-vitkovice.cz* [online]. [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.sps-vitkovice.cz/projekty/koc/soubory/pdf/sverka.pdf>
- [8] Trapézové vodící šrouby a matice. HABERKORN. *Http://www.haberkorn.cz* [online]. [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.haberkorn.cz/files/file/pohonne-systemy/ke-stazeni/B.pdf>

Podklady společnosti Edwards

3D CAD software Autodesk Inventor Professional



## **9. Seznam příloh:**

BRONZOVÁ MATICE D001

TLAČNÝ VÁLEC D 002

ČEP RAMENA D 003

KOLÍK SE ZÁVITEM D 004

PEVNÉ RAMENO D 005

POHYBLIVÉ RAMENO D 006

PŘÍTLAČNÝ VÁLEC D 007

UTAHOVACÍ TYČ D 008

TĚLO PŘÍPRAVKU D 009

UTAHOVACÍ VÁLEC D 010

VÝKRES SESTAVENÍ D 011

KUSOVNÍK PŘÍTLAČNÉHO MECHANIZMU D 012

TĚLO PŘÍPRAVKU R 001

MĚŘÍCÍ ČEP R 002

PEVNÉ RAMENO R 003

POHYBLIVÉ RAMENO R 004

PARAMETRY TLAČNÉ PRUŽINY PRO PŘÍPRAVEK NA MĚŘENÍ TEPLoty  
TĚLESA VÝVĚVY

VÝKRES SESTAVY R 006

TĚLO PŘÍPRAVKU C 001

MĚŘÍCÍ ČEP C 002

PARAMETRY TLAČNÉ PRUŽINY PRO PŘÍPRAVEK NA MĚŘENÍ TEPLoty  
LOŽISKA A TALÍŘKU

VÝKRES SESTAVY C 004

TĚLO PŘÍPRAVKU E 001

VÝKRES SESTAVY E 002



**Generátor komponent tlačných pružin**

Návrh **Výpočet**

### Pevnostní výpočet pružiny

Výpočet kontroly pružiny

### Možnosti výpočtu

Typ návrhu  
F, rozměry sestavy --> d, L<sub>0</sub>, n, D

### Metoda korekce křivky napětí

Korekce podle CSN

### Návrh montážních rozměrů

Návrh všech montážních rozměrů L<sub>1</sub>, L<sub>g</sub>, H

### Zatížení

Min. zatížení F<sub>1</sub> 5,000 N

Max. zatížení F<sub>g</sub> 30 N

Pracovní zatížení F 25,000 N

### Rozměry

Průměr drátu d 1 mm

Vnější průměr D<sub>1</sub> 9,5 mm

Délka volné pružiny L<sub>0</sub> 30 mm

### Závity pružiny

Zakrouhlování počtu závitů 1

Činné závity n 6 ul

### Materiál pružiny

☐ Vlastní ...

Mez pevnosti v tahu σ<sub>ult</sub> 1860,000 MPa

Dovolené napětí v krutu τ<sub>A</sub> 930,000 MPa

Modul pružnosti ve smyku G 68500,000 MPa

Hustota ρ 7850 kg/m³

Součinitel využití materiálu us 0,900 ul

☐ Kontrola vzpěrného vybočení

Typ pružiny  
Vedené uložení – rovnoběžně obrobené dosedací plochy

☐ Dynamické zatížení

Nekuličkové pružiny

Životnost pružiny v tisících průhybů N > 10000

Součinitel bezpečnosti k<sub>f</sub> 1,200 ul

### Montážní rozměry pružiny

H, L<sub>1</sub> --> L<sub>g</sub>

Délka při min. zatížení L<sub>1</sub> 27,848 mm

Délka při max. zatížení L<sub>g</sub> 17,090 mm

Pracovní zdvih H 10,758 mm

Délka při pracovním zatížení L<sub>w</sub> 19,242 mm

### Výsledky

a	3,625 mm
t	4,625 mm
K <sub>w</sub>	1,160 ul
k	2,324 N/mm
s <sub>1</sub>	2,152 mm
s <sub>g</sub>	12,910 mm
s <sub>g</sub>	21,750 mm
L <sub>minf</sub>	9,520 mm
L <sub>g</sub>	8,250 mm
F <sub>g</sub>	50,542 N
τ <sub>1</sub>	125,541 MPa
τ <sub>g</sub>	753,249 MPa
τ <sub>g</sub>	1269,021 MPa
v	15,728 mps
f	766,878 Hz
W <sub>g</sub>	0,194 J
l	231,200 mm
m	0,001 kg

9:37:59 Výpočet skončil úspěšně!

Daným parametrům pružiny odpovídá tlačná pružina nabízená společností UVB  
TECHNIK s.r.o., katalogové číslo: TL 0100x0090x0300.

**Návrh**    **Výpočet**

---

### Pevnostní výpočet pružiny

Návrh tlačné pružiny

Možnosti výpočtu  
Typ návrhu  
F<sub>g</sub>, D, rozměry sestavy --> d, L<sub>0</sub>, n, F<sub>1</sub>

Metoda korekce křivky napětí  
Bez korekce

Návrh montážních rozměrů  
Návrh všech montážních rozměrů L<sub>1</sub>, L<sub>g</sub>, H

### Zatížení

Min. zatížení F<sub>1</sub> 13,750 N

Max. zatížení F<sub>g</sub> 20 N

Pracovní zatížení F 15,000 N

### Rozměry

Průměr drátu d 0,630 mm

Vnější průměr D<sub>1</sub> 3,8 mm

Délka volné pružiny L<sub>0</sub> 22,897 mm

### Závity pružiny

Zakrouhlování počtu závitů 1

Činné závity n 12,000 ul

### Materiál pružiny

☐ Vlastní

Mez pevnosti v tahu σ<sub>ult</sub> 1860,000 MPa

Dovolené napětí v krutu τ<sub>A</sub> 930,000 MPa

Modul pružnosti ve smyku G 68500,000 MPa

Hustota ρ 7850 kg/m³

Součinitel využití materiálu us 0,900 ul

☐ Kontrola vzpěrného vybočení

Typ pružiny  
Vedené uložení – rovnoběžně obrobené dosedací plochy

☐ Dynamické zatížení

Nekulkované pružiny

Životnost pružiny v tisících průhybů N >10000

Součinitel bezpečnosti k<sub>f</sub> 1,200 ul

### Montážní rozměry pružiny

H, L<sub>1</sub> --> L<sub>g</sub>

Délka při min. zatížení L<sub>1</sub> 19,000 mm

Délka při max. zatížení L<sub>g</sub> 17,229 mm

Pracovní zdvih H 1,771 mm

Délka při pracovním zatížení L<sub>w</sub> 18,646 mm

### Výsledky

a	1,160 mm
t	1,790 mm
K <sub>w</sub>	1,000 ul
k	3,529 N/mm
s <sub>1</sub>	3,897 mm
s <sub>g</sub>	5,668 mm
s <sub>g</sub>	13,919 mm
L <sub>minf</sub>	10,187 mm
L <sub>g</sub>	8,978 mm
F <sub>g</sub>	49,116 N
τ <sub>1</sub>	443,895 MPa
τ <sub>g</sub>	645,666 MPa
τ <sub>g</sub>	1585,610 MPa
v	28,662 mps
f	1736,826 Hz
W <sub>g</sub>	0,057 J
l	147,088 mm
m	0,000 kg

Daným parametrům pružiny odpovídá tlačná pružina nabízená společností UVB TECHNIK s.r.o. , katalogové číslo: TL 0063x0038x0200.